

## **O JÚRI**

### **PRESIDENTE**

Doutor Rui Mendonça,

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ORIENTADOR**

Doutor Jorge Lino

PROFESSOR ASSOCIADO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ARGUENTE**

Doutor João Francisco Gomes da Silva

PROFESSOR ADJUNTO DO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO  
DO POLITÉCNICO DO PORTO

# 19

27.10.2017

**MESTRE João Silva**  
**MDIP/39**



Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

# **Análise e desenvolvimento conceptual de um novo material para embalagem AIR PACK**

---

**João Tiago Soares da Silva**

Dissertação do Mestrado de Design Industrial e de Produto

Orientador: Professor Jorge Lino

*Setembro 2017*



*Aos meus Pais*



# Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pelo trabalho e sacrifício que me permitiram chegar a este momento. Por todas as longas conversas relativas ou não ao projeto.

À minha irmã, pela sua ajuda nos momentos em que não estive tão disponível.

Ao Professor Jorge Lino, por toda a ajuda disponibilizada durante a realização deste trabalho, desde a discussão sobre os projetos, como a possibilidade de utilização dos espaços no INEGI- Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial.

Ao Luís Ferreira, manager do grupo de packaging, pela possibilidade da realização de estágio e acreditar que seria a pessoa indicada para este desenvolvimento.

Ao Pedro Costa, engenheiro mecânico, pela ajuda durante as várias fases de desenvolvimento deste projeto.

A toda a equipa de packaging, pelo apoio e boa disposição que sempre demonstraram no local de trabalho.

Ao meu Tio Paulo Silva, pela sua compreensão de como realizar uma tese e das conversas sobre como abordar os temas.

Ao engenheiro Jorge Moreira da Costa e artista Nucha Cardoso, pela ajuda na estruturação e revisão da tese, bem como todas as dúvidas e pequenos pontos a melhorar.

Por último,

À Joana, pela constante paciência e ajuda a todos os níveis emocionais, calma nas alturas que pareciam turbulentas e apoio para ultrapassar as dificuldades.

Agradecimento ao financiamento do Projeto NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).





# Resumo

A parceria entre empresas e faculdades, permitem aos estudantes alargar os seus horizontes ainda dentro do âmbito curricular, alcançando uma experiência profissional de qualidade. A dissertação apresentada foi desenvolvida em conjunto com a empresa Bosch Security Systems e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O principal objetivo foi o estudo e desenvolvimento de um novo material para a indústria da embalagem – Air Pack.

A novidade e o desconhecimento por parte da empresa, obrigaram à pesquisa de fornecedores e à análise das propriedades físicas e mecânicas do material. Num primeiro momento foram realizados estudos do material, de modo a caracterizar o seu funcionamento e benefícios para a indústria. A parceria possibilitou a utilização dos dois locais para efetuar todas as avaliações necessárias.

Num segundo momento foram realizados dois desenvolvimentos de soluções para produtos da empresa. As diferenças entre os dois projetos passaram pela complexidade da forma e o intuito da sua realização. Princípios como a usabilidade para o consumidor, a disposição na embalagem de transporte, os aspetos técnicos de proteção e os modos de transporte foram bem estabelecidos em ambos os projetos. A utilização do novo material possibilitará à empresa poupanças de gastos não só a nível de materiais, mas também ao nível da logística produtiva.

Em conclusão, este trabalho permitiu ao estudante perceber o mundo empresarial, garantindo sempre o espaço de pesquisa e procura por novas soluções. As implementações discutidas neste trabalho, permitem um uso mais racional e sustentável dos recursos naturais.

Palavras chave: Packaging; Air Pack; Curvas de Amortecimento;



# Abstract

The partnership between companies and faculties, allow students to broaden their horizons still within the curricular scope, achieving a qualified professional experience. The dissertation presented was developed in combination with the company Bosch Security Systems and the Faculty of Engineering of the University of Porto. The main objective was the study and development of a new material for the packaging industry - Air Pack.

The novelty and lack of knowledge on the part of the company, forced the research of suppliers and the analysis of the physical and mechanical properties of the material. At first, studies of the material were carried out, in order to characterize its operation and benefits for the industry. The partnership made it possible for the two locations to be used to carry out all the necessary assessments.

In a second moment, two solutions were developed for the company's products. The differences between the two projects went through the complexity of the form and the purpose of its realization. Principles such as consumer usability, the nature of packaging, technical protection aspects and methods of transport were well established in both projects. The use of the new material will enable the company to save costs not only in terms of materials but also in terms of logistics.

In conclusion, this work aimed to allow the student to perceive the business world, always guaranteeing the space of research. The implementations discussed in this thesis allow a more rational and sustainable use of natural resources.

Keywords: Packaging; Air-Pack; Cushion Curves;



# Sumário

## Agradecimentos

## Resumo

## Abstract

### Capítulo I - Introdução e Motivações

Empresa .....	23
Proposta do caso de estudo .....	24
Proposta do material .....	25
Pertinência do problema .....	26

### Capítulo II - Revisão da Literatura

Breve História da Embalagem .....	29
Materiais na Indústria da Embalagem .....	31
Transporte de Produtos .....	39
Testes na Indústria da Embalagem .....	42

### Capítulo III - Metodologia e Desenvolvimento

Metodologia para a resolução do problema .....	53
Abordagem ao problema .....	53
Início do desenvolvimento .....	53

### Capítulo IV - Resultados e Discussão

Estudo da variação das dimensões gerais .....	79
Testes de Vácuo .....	81
Testes de Temperatura .....	83
Testes de Compressão .....	86
Testes de Impacto .....	88
Resumo Final .....	89

## **Capítulo V - Casos de Estudo**

Hubble 1	91
Gen 5	97

## **Capítulo VI - Conclusões**

# Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela de Comparação dos principais materiais de embalagem. _____	39
Tabela 2 – Parâmetros para o cálculo da força de Compressão. _____	44
Tabela 3 – Representação dos locais por vertente de trabalho. _____	48
Tabela 4 – Amostras selecionadas e características. _____	64
Tabela 5 – Segmento de amostras 1 – Igual diâmetro, diferente pressão. _____	66
Tabela 6 – Segmento de amostras 2 – Diferente diâmetro, igual pressão. _____	66
Tabela 7 – Número de Testes realizados. _____	67
Tabela 8 – Testes para determinação da altitude máxima. _____	68
Tabela 9 – Valores máximos e mínimos dos parâmetros por local. _____	69
Tabela 10 – Apresentação dos testes a realizar para a série 1. _____	70
Tabela 11 – Apresentação dos testes a realizar para a série 2. _____	70
Tabela 12 – Valores máximos e mínimos dos parâmetros. _____	70
Tabela 13 – Quantidade de amostras selecionadas para os testes de compressão. _____	73
Tabela 14 – Caracterização dos deslocamentos testes de compressão. _____	75
Tabela 15 – Caracterização da amostras utilizadas. _____	76
Tabela 16 – Caracterização dos testes de impacto. _____	77
Tabela 17 – Resultados após testes das variações das dimensões. _____	79
Tabela 18 – Resultados relativos às percentagens de redução. _____	80
Tabela 19 – Comparação entre dados do fornecedor e final. _____	81
Tabela 20 – Resultados dos testes iniciais. _____	82
Tabela 21 – Resultados dos testes finais. _____	82
Tabela 22 – Caracterização da força dos testes de compressão. _____	86
Tabela 23 – Caracterização da pressão dos testes de compressão. _____	87
Tabela 24 – Valores dos esforços estáticos. _____	87
Tabela 25 – Valores das acelerações obtidas nos teste de impacto. _____	88

Tabela 26 – Valores dos esforços dos testes de impacto. _____	89
Tabela 27 – Tabela de decisão de materiais, desenvolvida especificamente para a empresa. ____	94
Tabela 28 – Análise dos custos referentes ao projeto Dinion. _____	96
Tabela 29 – Análise dos custos referentes ao projeto GEN 5. _____	104



# Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplo do Material Air Pack	25
(Disponível em: < <a href="https://www.airpacksystems.com/wpcontent/uploads/2016/10/wine_1_bagwithbottle.jpg">https://www.airpacksystems.com/wpcontent/uploads/2016/10/wine_1_bagwithbottle.jpg</a> > Acesso em Set. 2017.)	
Figura 2 – Organograma das possíveis interações entre o material e o todo o ciclo de vida.	27
(Fonte:Elaborado pelo autor)	
Figura 3 – Fatores que caracterizam a seleção do material de embalagens	31
(Fonte: Elaborada pelo autor)	
Figura 4 – Esquema dos conjuntos dos materiais de embalagem.	32
(Fonte: Elaborada pelo autor)	
Figura 5 – Ilustração das espessura do cartão canelado e possíveis conjugações.	34
(Fonte: Elaboradapelo autor)	
Figura 6 – Ilustração do Edge Crush Test e da resistência ao rebentamento (Mullen).	34
(Fonte: Elaborada pelo autor)	
Figura 7 – Material Air pack.	36
(Disponível em < <a href="https://www.airpacksystems.com/">https://www.airpacksystems.com/</a> > Acesso em Jun. 2017.)	
Figura 8 – Representação da produção de um flme polimérico de múltiplas camadas.	37
(Disponível em < <a href="http://www.dic-global.com/ap/en/products/flm/multilayer.html">http://www.dic-global.com/ap/en/products/flm/multilayer.html</a> > Acesso em Jun. 2017.)	
Figura 9 – Representação do caminho do ar no processo de enchimento.	37
(Fonte: Elaborado pelo Autor)	
Figura 10 – Representação válvula antirretorno.	38
(Disponível em: <Liao, Chian Hua, Yao Sin Liao, and Bo Xin Jian. "Inflatable pneumatic bag." U.S. Patent No. 7,695,786. 13 Apr. 2010.> Acesso em Jul. 2017.)	
Figura 11 – Exemplos de desenvolvimentos de Air pack.	38
(Disponível em < <a href="https://www.airpacksystems.com">https://www.airpacksystems.com</a> > Acesso em Jul. 2017.)	
Figura 12 – Representação do gráfico da região de danos.	43
(Disponível em <Schueneman, Herbert H., "Product Fragility Analysis Made Easy. Westpak, Inc. 2015> Acesso em Jun.2017)	
Figura 13 – Representação de todos os fatores a assinalar na caixa de teste.	44
(Fonte: Elaborado pelo Autor)	
Figura 14 – Simulador de vibração do transporte.	45
(Disponível em < <a href="http://www.labequipment.com/vseries/">http://www.labequipment.com/vseries/</a> > Acesso em Jun. 2017.)	
Figura 15 – Ilustração de um impacto numa embalagem com proteção	46
(Disponível em <"Designing for Optimal Cushioning Performance With Arpro EPP and Arpak EPE"> Acesso em Jun. 2017.)	

Figura 16 – Representação mundial, dos locais fabris e centros de desenvolvimento, da Bosch Security Systems	48
(Fonte: Elaborado pelo Autor)	
Figura 17 – Ovar Fev.2016 a Fev.2017 - Humidade Relativa, Temperaturas, respetivamente.	48
(Disponível em <weatheronline.co.uk> Acesso em Abr. 2017)	
Figura 18 – Gráfico de Volume/Pressão.	49
(Disponível em <http://chemistry-reference.com/gases/> Acesso em Jun. 2017)	
Figura 19 – Gráfico de pico de aceleração.	50
(Disponível em <Schueneman, Herbert H., "Cushion Engineering, Design and Testing". Westpak, Inc.> Acesso em Mai. 2017.)	
Figura 20 – Gráfico típico de curvas de amortecimento.	51
(Disponível em <Schueneman, Herbert H. and Escobedo M., "Package Drop Testing: The Do's and don't's of Package Impact Performance Tests". Westpak, Inc.> Acesso em Mai. 2017.)	
Figura 21 – Equipamento de testes de impacto.	54
Figura 22 – Desenvolvimento da estrutura.	55
Figura 23 – Perfis de alumínio.	55
Figura 24 – Canto 90°.	56
Figura 25 – Tampa polimérica para perfil de alumínio.	56
Figura 26 – Chapa de Alumínio colocada na parte inferior da estrutura.	56
Figura 27 – Desenvolvimento do tabuleiro de impacto.	56
Figura 28 – Chapa de alumínio para tabuleiro de impacto.	57
Figura 29 – Parafuso e conexão em T.	57
Figura 30 – Chapa de aço inox para aumento de massa do tabuleiro.	57
Figura 31 – Guias lineares e patins de deslocamento.	57
Figura 32 – Colocação nas guias lineares e representação dos patins no software solidworks.	58
Figura 33 – Desenvolvimento das chapas quinadas e conexão da estrutura com tabuleiro de impacto.	59
Figura 34 – Materiais e construção do equipamento de testes.	59
Figura 35 – Constrangimentos nas chapas quinadas.	61
Figura 36 – Ligações entre estrutura e tabuleiro de impacto.	62
Figura 37 – Ligações entre estrutura e tabuleiro de impacto.	62

Figura 38 – Alinhamento e reforço do equipamento de testes. _____	63
Figura 39 – Conjunto de amostras separados por diâmetros. Ø30, Ø40, Ø50. _____	64
Figura 40 – Exemplo de amostra de Ø50 mm e pressão de 1.5 bar. _____	65
Figura 41 – Máquina de Vácuo no INEGI. _____	66
Figura 42 – Exemplos de amostras em vazio e após enchimento. _____	71
Figura 43 – Esquema da variação da dimensões das amostras consoante diâmetro dos alvéolos. _____ (Fonte: Elaborado pelo Autor)	73
Figura 44 – Ilustração das amostras na máquina de compressão. _____ (Fonte: Elaborado pelo Autor)	74
Figura 45 – Ilustração dos diferentes pontos finais dos testes. _____ (Fonte: Elaborado pelo Autor)	74
Figura 46 – Caracterização das dimensões antes e após enchimento. _____ (Fonte: Elaborado pelo Autor)	80
Figura 47 – Exemplo do estado da amostra após o teste de vácuo 10. _____	83
Figura 48 – Resultados do teste 1 da série 1. Condensação nas soldaduras nos alvéolos (a.;b.). Imagem microscópica da zona de soldadura (c.). _____	83
Figura 49 – Resultados do teste 2 da série 1. Imagem microscópica da zona de soldadura (a.). Amostra do material após teste (b.) _____	84
Figura 50 – Resultados do teste 3 da série 2. Saliências na zona de soldadura das válvulas (a.). Condensação no canal de insuflação (b.). _____	84
Figura 51 – Resultados do teste 4 da série 2. Pontos frágeis no canal de soldadura. _____	85
Figura 52 – Resultados do teste 5 da série 3. Condensação nos canais de enchimento (a.). Zonas de soldadura mais pronunciadas (b.) _____	85
Figura 53 – Dinion 720p. Autodome 7000 _____ (Disponível em < <a href="https://us.boschsecurity.com/en/products/videosystems/videosystems_4">https://us.boschsecurity.com/en/products/videosystems/videosystems_4</a> > Acesso em Jul. 2017.)	91
Figura 54 – Conjuntos pertencentes à embalagem da Dinion. Caixa FEFCO 0470 (a.). Saco de polietileno (b.). Saco dos acessórios (c.). Inserto de cartão (d.). Colocação do produto na caixa (e.). Manual de instruções (f.) _____	93
Figura 55 – Materiais selecionados para os desenvolvimentos iniciais. Plástico bolha (a.). Filme termo retrátil (b.). Filme de proteção (c.). Air Pack (d.) _____	93

Figura 56 – Teste de Pré-Configuração (a.). Teste de Vibração (b.). Teste Climático (c.)	94
Figura 57 – Desenvolvimento do conceito da caixa FEFCO 0711	95
Figura 58 – Conceito final do material Air Pack para o projeto Dinion	95
Figura 59 – Ilustração da sequência de montagem do novo conceito do projeto Dinion	96
Figura 60 – Partes constituintes da embalagem do projeto GEN 5. Caixa de cartão (a.). Espumas de EPE (b.;c.). Canyos em cartão canelado (d.). Saco ESD (e.).	98
Figura 61 – Ilustração da sequência de montagem da embalagem do projeto GEN 5.	98
Figura 62 – Conceito inicial do projeto GEN 5.	99
Figura 63 – Segundo desenvolvimento para o projeto GEN 5.	100
Figura 64 – Ilustração da sequência de montagem da segunda fase de desenvolvimento do projeto GEN 5.	100
Figura 65 – Conceito final dos acessórios do projeto GEN 5.	101
Figura 66 – Terceiro desenvolvimento da solução da GEN 5.	101
Figura 67 – Ilustração da sequência de montagem da terceira fase de desenvolvimento do projeto GEN 5.	101
Figura 68 – Exemplo da humidade atingida após os testes climáticos. Saco utilizado. Novo conceito Air Pack.	102
Figura 69 – Resultados dos testes de queda do terceiro conceito do projeto GEN 5.	102
Figura 70 – Solução final do projeto GEN 5.	103
Figura 71 – Ilustração da sequência de montagem da solução final do projeto GEN 5.	103
Figura 72 – Logística das espumas.	105
Figura 73 – Representação da logística do novo material Air Pack.	105

## Abreviaturas e Símbolos

<b>ECT</b>	Edge Crush Test
<b>EPE</b>	Polietileno Expandido
<b>EPS</b>	Poliestireno Expandido
<b>g</b>	gramas
<b>h</b>	Horas
<b>m</b>	metro
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>N</b>	Newton
<b>P</b>	Pressão
<b>PU</b>	Poliuretano
<b>T</b>	Temperatura
<b>V</b>	Volume
<b>°C</b>	Graus Celcius
<b>%</b>	Porcentagem
<b>Ø</b>	Diâmetro



## **Introdução e Motivações**

A resolução de problemas permite a exploração de soluções a um nível multidisciplinar. Para uma melhor perceção do problema foi efetuada uma síntese relativa à elaboração do trabalho. O estágio, na empresa Bosch, teve como intuito o desenvolvimento de soluções para produtos próprios, dessa forma foram levantadas questões que conduziram à resolução do problema. As questões iniciais surgiram após a primeira conversa e abordagem com a empresa, redigidas nos pontos seguintes.

- O porquê de só utilizarmos os materiais utilizados?
- Seremos capazes de progredir e pensar em novas estratégias de implementação?
- Estaremos aptos para procurar novas matérias-primas, compreende-las e apresenta-las?
- Existirá a possibilidade de redução de espaço, tanto em armazém como em fábrica, mas mantendo as mesmas capacidades dos materiais existentes?
- Quais os inconvenientes da implementação de uma nova tecnologia?

Todas as questões levantadas, permitem ao designer/engenheiro uma perceção de quais os problemas que poderão surgir durante o desenvolvimento. Quais devem ser os caminhos a seguir, permitindo otimizar a solução para o problema. Durante a realização do projeto, mais questões irão surgir, mas compreender as questões fundamentais de um problema facilita a sua resolução.

Para a reformulação do problema proponho uma afirmação de qual a finalidade do projeto. “É possível reduzir o espaço que os materiais de embalagem ocupam, mas mantendo ou melhorando as capacidades mecânicas e estéticas do mesmo.”

### **1.1 Empresa**

Antes de iniciar a revisão de literatura prevê-se a necessidade de contextualizar a empresa na qual o estágio foi realizado, apresentando de forma breve a história da Bosch Security Systems e o trabalho que é constantemente desenvolvido. Não só é exposto, de uma forma geral a empresa, mas também uma apresentação do grupo e do trabalho que eles desenvolvem.

A Bosch Security Systems representa um departamento do grupo Bosch, como a Automotive Systems e Thermodynamic Systems, igualmente em Portugal. O seu começo, no início dos anos 2000, passou pela produção de sistemas de deteção. Quando em 2002 foi adquirida a Philips Communications and Security, aumentou o seu portefólio com os sistemas de vídeo vigilância. No início do ano de 2006, foi adquirido o grupo Telex, na qual faziam parte as empresas como a Eletro-voice, a Dynacord e a RTS, onde se desenvolvem sistemas de áudio.

### ***1.1.1 Criação do grupo e Desenvolvimento realizado***

Desde o início, o embalamento de produtos foi necessário e vital para o sucesso da empresa. Com o tempo e o elevado crescimento da empresa, este trabalho foi sendo considerado secundário, sendo o produto final o auge do desenvolvimento e onde a maior parte dos colaboradores estava envolvido.

Inicialmente o desenvolvimento de embalagens, era feito pelos próprios colaboradores que desenvolviam o produto, não existindo nenhuma especialização ou esforço para a total compreensão dos materiais a utilizar, como igualmente, quais os problemas existentes no transporte. Devido ao empenho que a empresa tem em produzir produtos de qualidade, foi criado um grupo centralizado de desenvolvimento de embalagens, residente em Portugal, na fábrica de Ovar. O desenvolvimento realizado está inserido no departamento de Security Systems, pelo que todos os produtos desenvolvidos e avaliações a embalagens existentes, pedidos pelas várias secções do departamento, será realizado por este grupo.

O grupo é composto por um total de 10 colaboradores, onde existem 3 grandes áreas de desenvolvimento, sendo estas o desenvolvimento de embalagens, o desenvolvimento de arte gráfica e etiquetagem.

- Na área de etiquetagem, o grupo tenta compreender quais os impactos que uma simples etiqueta pode provocar no processo produtivo e informativo do produto. Existe um desenvolvimento de etiquetas, no qual é feito a criação de ícones e disposição gráfica para uma melhor facilidade de leitura por parte do consumidor final.
- A área de desenvolvimento de arte gráfica está envolvida com toda a parte de criação e exploração do design gráfico. É nesta área que os artworks são criados para as caixas, procurando manter uma uniformidade nas caixas e nos desenhos desenvolvidos.
- A última grande área de desenvolvimento, na qual este trabalho está mais focado, é o desenvolvimento de embalagens de proteção. Aborda-se, nesta área, tudo o que está envolvido com os esforços a que o produto pode estar sujeito, explorando os vários materiais existentes e quais as suas características. São realizados ensaios de testes aos produtos desenvolvidos esperando obter a elevada qualidade que esta empresa representa.

## **1.2 Proposta do caso de estudo**

A proposta da empresa para o estágio, que levou a realização desta dissertação, foi o desenvolvimento de uma nova embalagem para uma câmara de videovigilância – Autodome IP 7000, que incluísse um novo material Air Pack, nunca previamente utilizado pela empresa.

Sendo que a câmara já se encontra em produção e é considerado um dos produtos mais vendidos pela empresa, foi necessário levar em consideração alguns pontos importantes, para que este desenvolvimento não seja só considerado uma solução dum problema, mas uma total reformulação do embalamento do produto. Alguns pontos importantes devem ser tidos em consideração.



- Perceber quais são os constrangimentos que a câmara possui em termos de desacelerações que pode sofrer.
- Analisar quais são os materiais utilizados atualmente para a produção da mesma e as suas propriedades.
- Compreender quais os acessórios utilizados e a sua disposição durante o transporte, juntamente com a câmara.
- Entender a disposição da câmara no interior da embalagem e restantes acessórios, para que exista uma correta distribuição de massa.
- Estudar os meios de transporte utilizados pela empresa e como isso pode influenciar a escolha dos materiais.
- Examinar a caixa exterior que protege o material de embalagem e o comportamento após as primeiras agressões ambientais e de transporte.

### 1.3 Proposta do material

No desenvolvimento da embalagem e devido ao material proposto pela empresa, foi idealizado um estudo das propriedades do Air Pack (Figura 1). O esquema, representado pela Figura 2, pretende auxiliar a compreensão das etapas necessárias a abordar e cobrir todos os possíveis estados, nos quais o material poderá estar durante o seu tempo de vida útil.

Através do diagrama é possível, de um modo prático e simples, compreender que o material estará sujeito a uma quantidade enorme de agressões, sejam elas ao nível mecânico como ao nível térmico. Um dos primeiros passos, para tentar compreender qual o tipo de constrangimentos que poderão existir no material, é necessário avaliar quais são os trajetos que o produto irá realizar. Possibilitamos assim a existência de uma verificação prévia, onde o mesmo será sujeito aos mais variados estudos, validando os seguintes tanto a nível teórico, como em laboratório.

Nesta procura, estaremos unicamente a considerar quais os eventos que acontecem depois de o produto já embalado. Existe, no entanto, a necessidade de considerar o tempo que o material está nos respetivos armazéns espalhados por todo o mundo.



**Figura 1** – Exemplo do Material Air Pack (Disponível em: < [https://www.airpacksystems.com/wp-content/uploads/2016/10/wine\\_1\\_bagwithbottle.jpg](https://www.airpacksystems.com/wp-content/uploads/2016/10/wine_1_bagwithbottle.jpg) > Acesso em Set. 2017.)

## 1.4 Pertinência do problema

No momento da proposta do trabalho ou neste caso do desenvolvimento, somos imediatamente levados a questionar a razão do pedido. Neste momento tento abordar quais as razões que levaram a empresa, a questionar um novo material e a necessidade de redesenhar a embalagem para a câmara de videovigilância Autodome 7000.

Ao começar a enumeração dos aspetos mais importantes, o preço talvez seja o de maior relevância. Para qualquer empresa, internacional ou nacional, o valor monetário de um bem ou material, é um dos fatores mais pertinentes e levado sempre em consideração. No caso da Bosch, essa razão está presente, visto que, ao efetuar a mudança entre o material existente – espuma EPE e cartão cancelado – para o novo material – Air Pack e cartão cancelado – poderá existir uma poupança considerável.

De modo a compreender onde a nova solução pode poupar, é necessário avaliar quais os pontos onde a solução atual possui um gasto mais elevado.

- No armazém, a solução atual obriga a um maior espaço de armazenamento.
- A embalagem é composta por 7 partes. Estas obrigam a um maior manuseamento no transporte do armazém para a linha de montagem. Consequentemente, um maior número de partes obriga a um maior tempo na montagem.
- O valor do material de que são compostas as embalagens. Uma espuma de EPE tem um valor superior ao cartão e ao Air Pack.

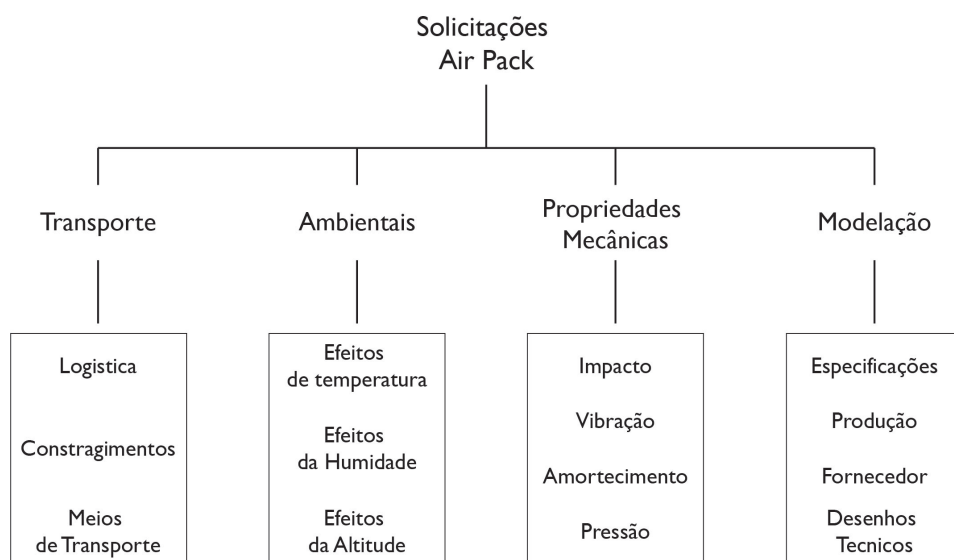
Através da análise efetuada à solução atual, a resposta do novo material tem de ser positiva quando comparada com a anterior. Desse modo, algumas verificações precisam de ser consideradas durante o desenvolvimento e constatar que existe a possibilidade de poupança.

Em armazém, a nova solução pretende provar que o espaço ocupado é suficiente para albergar a produção de um ano. Existe a necessidade de avaliar o seu comportamento ao longo desse tempo, considerando as mudanças de temperatura e humidade, existentes no armazém e de que forma pode influenciar o material.

No transporte do armazém para a linha de montagem, é preciso averiguar a quantidade de material que pode ser transportado em comparação com o atual. Esta análise poderá permitir uma poupança no número de viagem efetuadas e a constante necessidade de reabastecimento das linhas. Por vezes, este transporte é efetuado várias vezes, sendo que a sua consideração pode ser unicamente teórica, mas importante de considerar.

Na linha de montagem, é esperado que o novo material reduza o tempo de embalamento numa grande percentagem. Não só deve ser considerado o tempo como um fator importante, mas também a possível criação de lixo, que comparando com o cartão cancelado e espuma este valor será muito mais reduzido.

Em conclusão percebemos que todos os aspetos mencionados no texto têm grande peso na intenção de efetuar a mudança de material. Todos eles, de uma forma mais próxima ou afastada, reduzem os custos para a empresa.



**Figura 2** – Organograma das possíveis interações entre o material e o todo o ciclo de vida. (Fonte: Elaborado pelo autor)



## **Revisão da Literatura**

Uma revisão de literatura pressupõe um levantamento do máximo de informação possível sobre o tema que está a ser estudado, antes de avançar com alguma proposta ou tentativa de estudo.

Dessa forma, para a realização do projeto, foi necessário realizar uma recolha de vários tipos de dados, referidos abaixo:

- Uma breve revisão sobre a história da embalagem, procurando perceber onde começou e o que levou à necessidade de embalar produtos ou materiais. Pretendo compreender quais eram os materiais utilizados, e perceber a sua evolução para os materiais que hoje são comercializados.
- Uma vez que o estudo é dedicado às embalagens de proteção existiu a necessidade de pesquisar a sua evolução e abranger todos os pontos que levaram a esta indústria ter um elevado crescimento.
- O impacto que a indústria das embalagens pode ter em relação ao transporte, tanto a nível económico e como a nível ambiental.
- É igualmente importante fazer um levantamento de quais os materiais que são utilizados em embalagens, focando nas de proteção mas entender as restantes indústrias.
- Realizar um foco especial no estudo do material Air Pack, sendo este o questionado pela empresa e que deve ser compreendido da melhor forma.
- Acerca dos materiais para as embalagens de proteção é necessário compreender quais os testes que devem ser utilizados, para que o produto possa ser validado antes da sua implementação no mercado.
- Verificar após o estudo dos testes a realizar, quais é que devem ser implementados comparando com anteriores.

### **2.1 Breve História da Embalagem**

No início da história da humanidade e por um período longo de tempo os seres humanos eram nómadas. Não havia, por isso, a obrigação de cultivar os seus próprios alimentos, fazer os seus próprios utensílios para cozinhar e guardar comida.

Com a evolução dos tempos e a mudança para uma sociedade mais sedentária, residente em locais definidos, começou-se a antecipar futuros eventos, como estações do ano ou alturas de maior cultivo. Existiu a necessidade de guardar esses alimentos e de os transportar dos locais de cultivo para os locais de tratamento e armazenamento. Não existia nenhuma sofisticação nas embalagens inicialmente utilizadas, sendo as mesmas feitas de materiais providenciados pela natureza, como folhas, madeira e bambu.

As primeiras evidências de materiais de embalagem mais sofisticados apareceu por volta de 7000 A.C., sendo eles cerâmica e vidro. No entanto só em 1500 A.C. os egípcios industrializaram a produção tendo por base os mesmos ingredientes ainda utilizados nos dias de hoje [1, 2].

Durante a revolução industrial existiu um desenvolvimento enorme nos processos de manufatura e na procura de novos materiais. Os metais foram um dos materiais mais desenvolvidos para a indústria das embalagens, devido à capacidade de conseguirem manter as propriedades de produtos. As latas de metal foram lentamente substituindo o vidro, que devido às suas propriedades frágeis, não permitiam a utilização nas mais variadas situações, sendo estas latas utilizadas no exército [3].

Um importante material para a indústria das embalagens foi o papel, inicialmente produzido a partir de arroz, que teve o seu início na China nos primeiros séculos A.C. A sua produção aumentou com a introdução e desenvolvimento dos sacos de papel, passando depois para a produção de caixas de cartão, que hoje, são o meio de transporte mais utilizado em todo o mundo.

Numa era mais recente na história da embalagem temos um material muito utilizado nos dias de hoje. O plástico, descoberto no século XIX, possui a sua produção e utilização nos produtos comuns desde há 170 anos [1].

Com este novo material vieram muitas novas facilidades para a indústria das embalagens, sendo as espumas expandidas desenvolvidas na Alemanha nos anos de 1950. Este feito, possibilitou uma nova e ampla gama de produtos, nos quais estão inseridos os de isolamento para as habitações, como os de amortecimento.

Ao analisar a indústria está previsto que o mercado chegará a um valor de 1000 biliões de euros até ao ano de 2020 [4]. No entanto, estes valores conduzem a indústria a um rápido desenvolvimento para acompanhar o elevado crescimento.

Os caminhos mais explorados são a sustentabilidade, onde é reduzido o gasto ambiental e exploração de matérias primas, a personalização, onde a ideia foca no utilizador final e não no processo produtivo, e por fim, a passagem para a embalagem digital, com utilização de códigos QR impulsionando o crescimento tecnológico [5].

## 2.2 Materiais na Indústria da Embalagem

Os materiais são uma fonte de conhecimento e a sua variedade estende a possibilidade ao 'designer/engenheiro' de escolher, de uma gama enorme, o mais indicado. As suas características permitem, por vezes, transformar e modificar o ambiente, onde o conhecimento das variações e da sua complexidade tornam esta matéria fascinante.

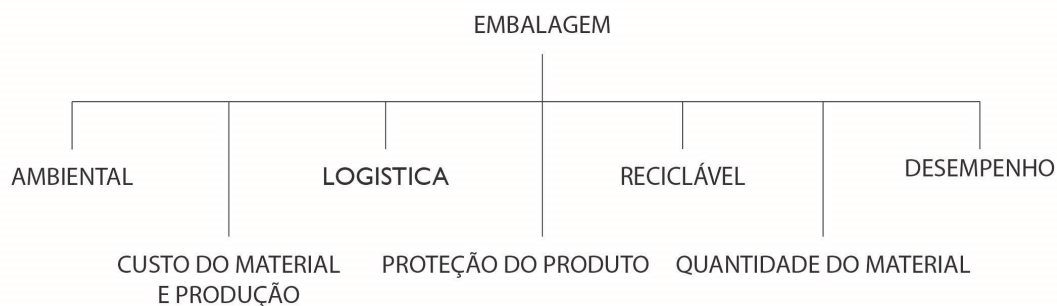
Nesta fase da dissertação tentaremos referir alguns pontos essenciais acerca dos materiais. O foco será direcionado para os materiais utilizados em embalagens de proteção e igualmente aqueles com quais a empresa está mais familiarizada. Haverá uma parte devidamente focada no material proposto, levantando os vários métodos no qual o material pode ser usado, como também alguns benefícios e desvantagens.

### 2.2.1 Intuito da Embalagem

O ser humano como ser racional possui a necessidade de transportar, armazenar e proteger os produtos que pretende consumir. As embalagens de proteção são o meio de separação, do produto das agressões provocadas pelo meio ambiente durante o transporte.

Podemos definir três importantes intuítos para a utilização de embalagens de proteção. Uma inicial, é reduzir os valores do impacto e vibração que o produto pode estar sujeito através do deslocamento quando ocorre impacto. A segunda função, é de que as mesmas poderão servir como meio para imobilizar os produtos nas caixas. Uma última utilização, é o preenchimento de espaço vazio nos contentores ou paletes de transporte.

Quando referimos as embalagens de proteção existem alguns tipos de materiais que a indústria considera mais eficazes. O custo referente à embalagem, corresponde a uma percentagem baixa do valor monetário do produto, por isso os materiais necessitam de possuir preços competitivos. No entanto, existem alguns fatores importantes na escolha dos materiais para embalagens de proteção esquematizados na figura seguinte.



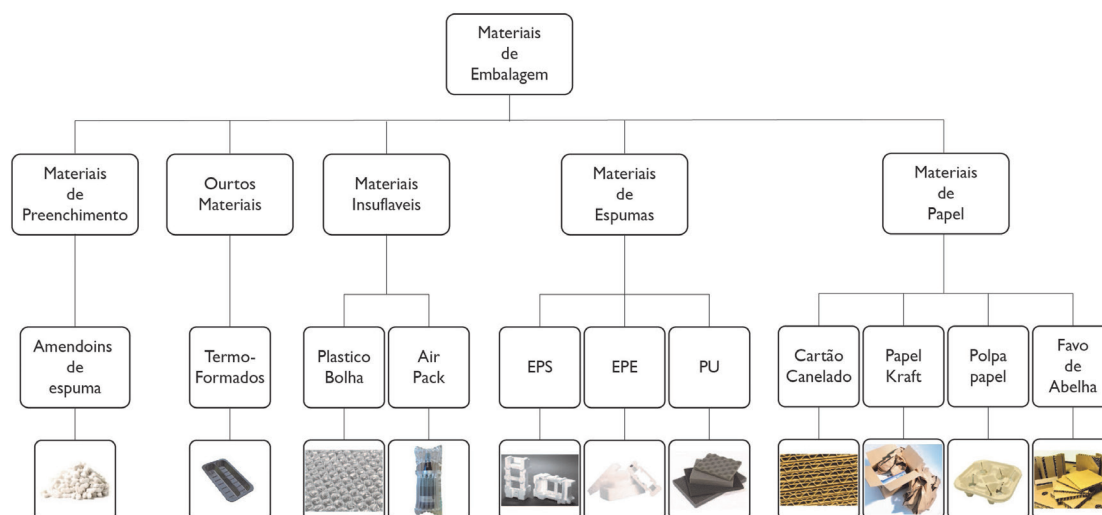
**Figura 3** – Fatores que caracterizam a seleção do material de embalagens. (Fonte: Elaborada pelo autor)

Com toda a informação disponível e facilidade de arranjar materiais, cabe ao ‘designer/engenheiro’ a escolha final sobre o material a utilizar. A seleção incide principalmente na proteção ao impacto e vibração, mas o grande trabalho é garantir que o produto chega ao consumidor final, nas condições às quais saiu de fábrica.

### 2.2.2 Estado da Arte

Na escolha dos materiais, as empresas optam pelas soluções mais ecológicas e de fácil acesso em qualquer parte do mundo, de forma a facilitar a transferência de informação entre os diferentes locais de desenvolvimento e produção.

A grande variedade de tipos de materiais para embalagens divide-se em 5 grandes grupos gerais, apresentado no esquema seguinte.



**Figura 4** – Esquema dos tipos de materiais de embalagem. (Fonte: Elaborada pelo autor)

Os materiais de preenchimento podem ser caracterizados como todos aqueles que auxiliam a ocupação do espaço em vazio, na caixa ou palete, oferecendo alguma proteção ao produto a nível do amortecimento. O exemplo mais comum são os amendoins de espuma. Este material é feito de poliestireno expandido pelo que possui uma baixa densidade e rigidez, tornando-o uma boa opção para este serviço.

Existem para além dos materiais mais comuns utilizados, um conjunto de materiais que ainda detém alguma utilização na indústria das embalagens. Os Termo-formados são materiais poliméricos e a sua utilização carece de algumas considerações especiais devido ao preço de produção. Normalmente, o emprego destes materiais é feito em produtos retornáveis ou que realizam percursos de fábrica para fábrica, devido principalmente ao custo de produção.



O grupo dos materiais insufláveis é um dos mais recentes devido à evolução dos plásticos. Será neste grupo de materiais que o trabalho proposto está focado devido ao material analisado. Este grupo pode ser caracterizado por materiais que utilizam o ar como meio de proteção, insuflando conjuntos de filmes plásticos. O material mais utilizado nesta área é o plástico bolha, devido à fácil produção e reciclabilidade.

## ***Papel***

Este grupo é composto por todos os materiais que são derivados do papel, podendo existir alguma distinção importante, dividida em 3 conjuntos.

O papel Kraft ou papel de embrulho pode estar, igualmente, inserido no grupo dos materiais de enchimento, uma vez que o intuito da sua utilização é a fixação do produto final no lugar correto. Este material promove algum efeito do amortecimento ao impacto e vibração, mas a sua maior valia está na capacidade de ocupação de espaço e custo reduzido.

O segundo conjunto é a polpa de papel, material este que fornece novas vantagens para a indústria e também a empresa. O material é muito utilizado na indústria de embalagens, tendo o seu principal foco em embalagens de transporte e de serviços. Um dos exemplos mais conhecidos são as caixas de ovos [11].

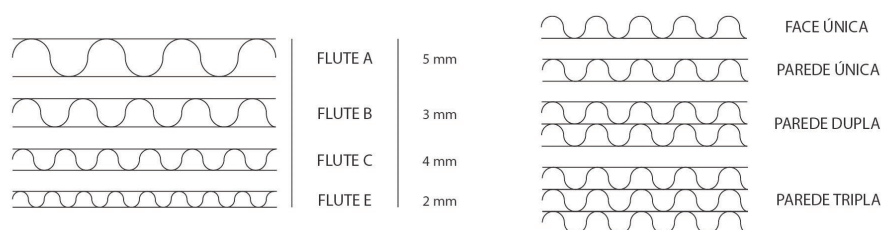
A sua utilização está inteiramente ligada com a ideia de sustentabilidade, visto que os materiais de que é produzido são recicláveis: papel, cartão e fibras naturais. Estes materiais base, são os responsáveis pelas propriedades da polpa, tais como a cor, a textura da superfície e a resistência da embalagem. Para algumas aplicações, este produto consegue oferecer um preço mais baixo quando comparado com espumas EPS e Termo formados [10,12]. A empresa começou a desenvolver este material para produtos eletrónicos, mas devido à fragilidade e elevado cuidado dos mesmos, é necessário uma maior investigação.

O último conjunto no grupo dos materiais de papel são os cartões canelados, onde existe também um material caracterizado por favo de abelha, relativamente recente para a indústria das embalagens. Permite suportar uma grande quantidade de peso na direção perpendicular ao canelado, mas baixa na direção longitudinal do canelado.

O cartão canelado é um dos materiais mais importantes para a indústria das embalagens, visto ser o mais utilizado devido às boas propriedades de suporte de cargas e reciclabilidade. É normalmente utilizado nas embalagens de proteção e no transporte de quase todo o tipo de produtos.

O material caracteriza-se pela conjugação de 3 folhas de papel, sendo as duas folhas exteriores planas e a folha interior ondulada, de modo a garantir a espessura do canelado e a sua resistência. As folhas de papel são normalmente obtidas através da separação de fibras da madeira, criando uma espécie de polpa que é posteriormente transformada em folha.

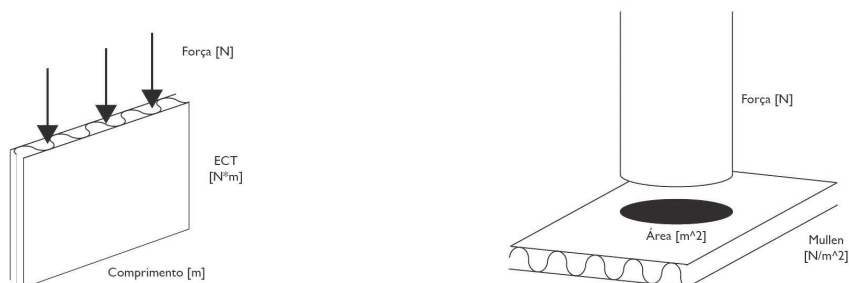
Com o aumento do transporte a nível intercontinental e ao aparecimento de cada vez mais tipos de produtos, com especificações diferentes, os cartões foram catalogados de modo a auxiliar estes avanços. Com isso, foram criados vários tamanhos de flutes/espessuras como também diferentes conjugações entre os mesmos, representado na figura 5.



**Figura 5** – Ilustração das espessura do cartão canelado e possíveis conjugações. (Fonte: Elaborada pelo autor)

Com o avanço das questões ambientais e a preocupação com a destruição das árvores, cada vez mais a produção da polpa de papel é feita a partir de material reciclável, o que afeta a informação referente às propriedades do material final. Os produtores de papel, são obrigados a fornecer um conjunto de parâmetros importantes, na definição da capacidade do cartão canelado. Para a empresa existem 3 pontos essenciais.

- A gramagem do cartão é um dado importante pois permite ao designer compreender qual a quantidade de fibras de papel existente por unidade de área [  $\text{g/m}^2$  ] [9].
- O ECT (Edge Crush Test) permite compreender qual é a carga que o cartão consegue suportar verticalmente na direção do canelado. Este dado é bastante relevante porque indica também a quantidade de peso que pode ser colocado por cima de uma caixa de cartão [  $\text{N/m}$  ] [8].
- A resistência ao rebentamento é uma propriedade do material que mede a sua capacidade de resistir à rutura. Este valor está dependente de alguns fatores como a resistência à tração e à extensão do material. Deve ser tratado como uma força por unidade de área, equivalente a uma pressão, sendo Pascal a unidade de medida [6,7].



**Figura 6** – Ilustração do Edge Crush Test e da resistência ao rebentamento (Mullen). (Fonte: Elaborada pelo autor)

## ***Espuma***

As espumas são um dos materiais de embalagens de proteção mais utilizados para produtos com elevada fragilidade e elevado peso. A suas propriedades, permitem que o material se deforme bastante, de forma a reduzir a aceleração do produto durante o impacto. Este material, permite também que peças com cantos aguçados, possam ser transportadas sem cortar o material. As espumas poliméricas mais utilizadas são as seguintes:

- Poliestireno expandido (EPS)
- Polipropileno expandido (EPP)
- Polietileno expandido (EPE)
- Poliuretano expandido (PU)

Normalmente o processo de produção das espumas EPE, EPP e poliuretano é feito a partir da extrusão de material, dessa forma o fornecimento é feito em folhas ou rolos. Caso exista a intenção de desenvolver uma forma diferente, as peças são coladas entre si através de calor [16,17].

Em comparação, o EPS pode ser fornecido em folhas, mas devido à sua baixa ductilidade, a produção para a indústria de embalagens é realizada por moldação de esferas de poliestireno expandido comprimidas em conjunto, criando uma estrutura moldada com a forma desejada [13,14,15].

Quando falamos em espumas, existem alguns parâmetros que nos ajudam a escolher que matéria prima, das apresentadas, é a mais indicada para um determinado serviço. A indústria da embalagem usa-os de forma a facilitar o trabalho de desenvolvimento.

- Um parâmetro essencial é a densidade das espumas. Uma vez que estas espumas são maioritariamente feitas de ar, esta propriedade permite ao designer uma escolha aproximada das capacidades de rigidez do material.
- O material de que são feitas as espumas e a sua reação com os produtos da empresa, são parâmetros importantes, porque dependendo da exigência ou especificação de um determinado produto, as espumas possuem comportamentos e capacidades diferentes.
- A dimensão das espessuras dos rolos ou paredes das peças, possui uma elevada correspondência com a capacidade de o material suportar deformações durante o impacto.

### ***2.2.3 Air Pack – Estudo e Caracterização***

Nesta parte da revisão é apresentado um levantamento do material, ilustrado pela Figura 7, proposto pela empresa e no qual o relatório está focado. Durante a realização do estágio, existiu sempre uma constante pesquisa sobre o funcionamento do material e como poderíamos otimizar as suas propriedades.



**Figura 7** – Material Air pack. (Disponível em <<https://www.airpacksystems.com/>>. Acesso em Jun. 2017.)

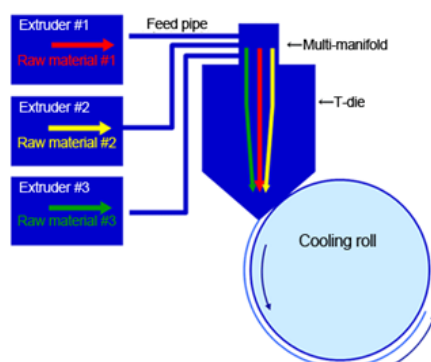
### ***Matéria prima e processo produtivo***

O material proposto pela empresa e já referido na fase inicial do relatório é o Air Pack. Este material possui algumas características interessantes, onde grande parte é alcançado pelas matérias primas de que é feito e forma de produção. O material em si pode ser caracterizado por um filme plástico extrudido e de espessura especificada ao fabricante, sendo composto majoritariamente por 2 polímeros.

- Um dos polímeros utilizados são as poliamidas ou nylons (PA), devido às suas propriedades de resistência ao desgaste e abrasão, com boas qualidades mecânicas a altas temperaturas. Um parâmetro importante que as poliamidas fornecem ao filme é a baixa permeabilidade aos gases, garantindo assim um enchimento correto [24,25].
- A segunda matéria prima utilizada é o polietileno de baixa densidade (PEBD), que devido às suas boas propriedades de ductilidade e resiliência, permitem ao material tenha uma alta deformação e exista uma absorção de energia em regime elástico, mantendo a sua forma mesmo após impacto.

A conjugação dos dois polímeros possibilita que o material tenha as propriedades necessárias para a utilização na indústria das embalagens. No entanto, o método de produção do filme pode influenciar essas capacidades, dessa forma uma revisão foi realizada uma análise para a melhor compreensão.

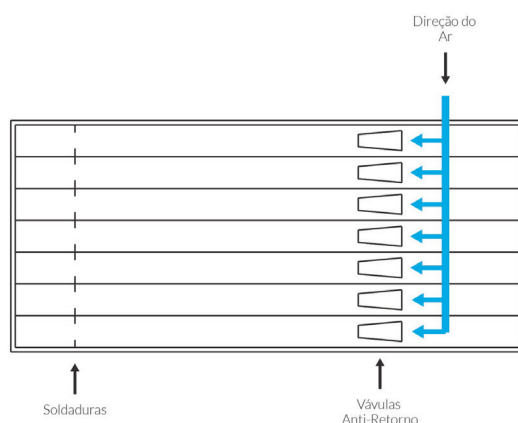
O filme utilizado é produzido através da junção das várias camadas finas das matérias primas apresentadas na Figura 8 [23]. Esta junção forma um filme polimérico com um número de extratos selecionados que podem ir até às 9 camadas, nos filmes utilizados [21]. Com isto, os filmes de camadas múltiplas possuem vários tipos de propriedades como resistência ao calor, flexibilidade e capacidade de absorção de energia.



**Figura 8** – Representação da produção de um filme polimérico de múltiplas camadas. (Disponível em <<http://www.dic-global.com/ap/en/products/film/multilayer.html>>. Acesso em Jun. 2017.)

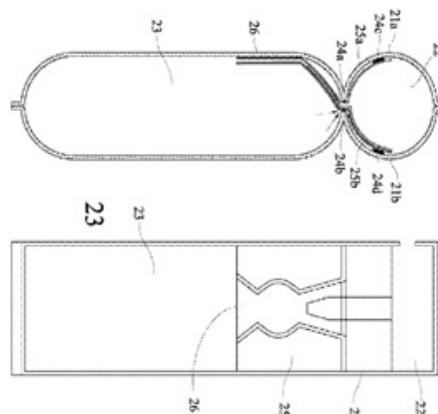
### ***Características do material***

O Air Pack é considerado um material insuflável, mas ao contrário do plástico bolha, não é necessário a utilização de um aparelho industrial para o enchimento [19,20]. O material é formado pela junção de dois filmes poliméricos e selado pelo processo de selagem a quente. Com isto, é formado um espaço devidamente fechado (alvéolos) que após o enchimento com ar comprimido forma um produto insuflável (Figuras 9 e 10).



**Figura 9** – Representação do caminho do ar no processo de enchimento. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Uma das principais vantagens deste material é a possibilidade de insuflação no próprio local de utilização, tendo acesso a uma linha de ar comprimido ou um compressor. Este atributo é conseguido através da criação de uma válvula antirretorno própria, desenvolvida por Chian Hua Liao, Yao Sin Liao, Bo Xin Jian, em 2010 e presente na patente US7695786 B2 [26].



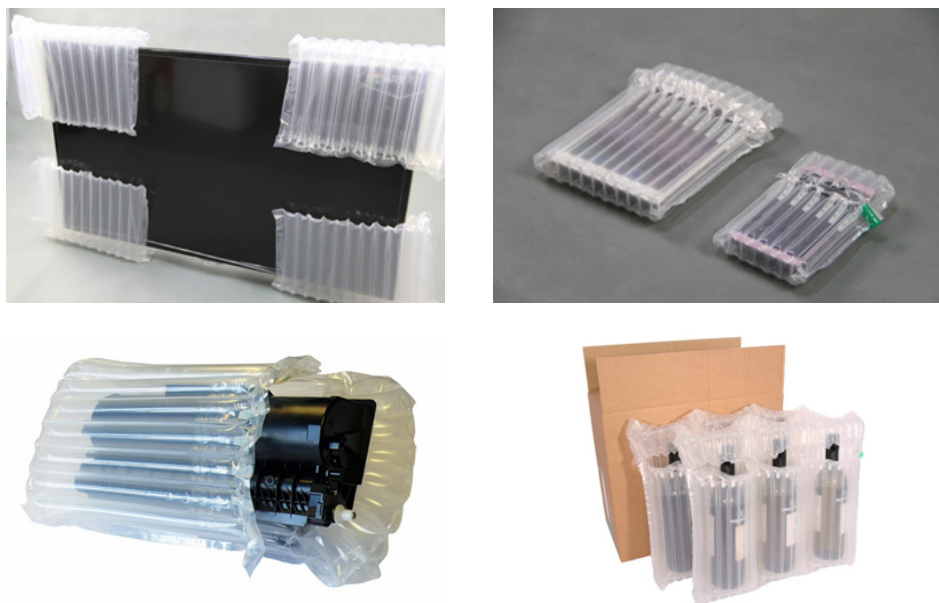
**Figura 10** – Representação válvula antirretorno. (Disponível em: <Liao, Chian Hua, Yao Sin Liao, and Bo Xin Jian. "Inflatable pneumatic bag." U.S. Patent No. 7,695,786. 13 Apr. 2010.> Acesso em Jul. 2017.)

## Revisão de Mercado

A utilização deste produto é considerada recente na indústria das embalagens, devido ao reduzido desenvolvimento e existência de pouca informação científica. No entanto existem alguns produtos comercializados no mercado.

Usualmente, existem duas indústrias no qual o material Air Pack é bastante utilizado, a indústria das bebidas e a indústria dos tinteiros para impressão. Esta mudança deve-se principalmente por razões de poupança para as empresas e a uma maior proteção comparada com os materiais anteriormente utilizados [20,22].

Um novo segmento de mercado que tem constantemente evoluído e apostado na utilização deste novo material é a indústria dos materiais eletrônicos, sendo aqui inserida a empresa no qual o trabalho foi desenvolvido. Esta área pode beneficiar desta nova evolução e já existem alguns produtos prontos para o embalamento [18].



**Figura 11** – Exemplos de desenvolvimentos de Air Pack. (Disponível em <<https://www.airpacksystems.com>> Acesso em Jul. 2017.)

## 2.2.4 Comparação entre materiais de embalagem

**Tabela 1** – Tabela de Comparação dos principais materiais de embalagem.

	MATERIAL DE EMBALAGEM					
	EPS	EPE	Cartão Canelado	Polpa papel	Plastico Bolha	AIR PACK
<div> <div> <div>Bom</div> <div>Mau</div> </div> </div>						
Espaço Armazém	●●●●	●●●●	●	●●	●●●	●
Tamanho	●●●●●	●●●●	●	●●	●●●	●
Montagem	●●	●●	●●●●●	●	●●●●	●●
Reciclagem	●●●●●	●●●●	●	●	●●	●●
Imagem	●●●●	●●●●	●●●	●●	●●●●	●●
Custo	●●●●●	●●●●●	●●	●●●	●●	●●
Resistência Ambiental	●●	●●	●●●●●	●●●●●	●●●	●●
Proteção Impacto	●●●	●●	●●●●	●●●●	●●●●	●

## 2.3 Transporte de produtos

O desenvolvimento de embalagens carece de uma compreensão do meio de transporte envolvente, existindo uma preocupação pelas agressões provocadas pelos sistemas de distribuição das empresas. Cada vez mais uma análise a estes sistemas se torna vital, devido à sua volatilidade, complexidade e constante mudança [33,35].

Nesta parte da revisão iremos, numa fase inicial, apresentar quais os meios de transporte da empresa e qual a sua utilidade. Serão apresentados alguns métodos utilizados para obtenção de medições de sistemas de distribuição e quais os impactos que poderão existir nas embalagens de proteção.

### ***2.3.1 Finalidade para a empresa***

O sistema de transporte de mercadorias, numa empresa a nível internacional, deverá ser caracterizado em diferentes pontos, devido às diferentes áreas envolvidas para o seu correto funcionamento.

A área talvez mais influenciada pelo transporte são as fábricas. Aqui existe um constante fluxo de materiais a entrar e sair para a produção, desde os produtores até à linha de montagem. O trajeto referido fica finalizado com o transporte dos produtos produzidos até o consumidor final.

Uma das áreas que obriga a um constante transporte de materiais ou produtos, entre diferentes locais são as áreas de desenvolvimento. Constantemente, são trocados produtos e informações entre os vários centros de desenvolvimento, onde por vezes o meio de transporte é tão complexo, que de nenhuma forma é fácil de o descrever.

Contudo e de forma a melhor compreender estas agressões e o como impacto das mesmas influencia alguns resultados, que aparecem sem explicação, é importante para a empresa abraçar o conhecimento generalizado do transporte.

### ***2.3.2 Meios de transporte***

Na Bosch Security Systems são utilizados quase todo o tipo de transportes, sejam eles terrestres, marítimos e aéreos. No entanto, existe uma variação pelas áreas de trabalho dentro da empresa.

Quando falamos da área de desenvolvimento, é habitual que a intenção do transporte de produtos seja o mais rápido possível, reduzindo o impacto no desenvolvimento e na discussão de conceitos. Os materiais são transportados via terrestre caso seja um deslocamento continental ou de avião caso o centro de desenvolvimento seja fora do país.

O sistema de transporte, na área de produção, encontra-se totalmente definido e pensado de forma a reduzir os custos e tempo de viagem. Normalmente, os transportes são realizados via marítima caso o material venha dos países Asiáticos, tentando sempre ocupar o maior número de paletes num contentor marítimo, e depois via terrestre até à fábrica. Caso os fornecedores sejam Portugueses ou Europeus, o transporte é normalmente realizado via terrestre, seja por camião ou comboio.

Contudo devemos estar cientes que a empresa não possui nenhum meio de transporte próprio, pelo que qualquer transporte realizado, seja o mesmo de entrada como de saída da fábrica, é controlado pelas empresas de transporte. No entanto, existem pessoas especializadas na procura



da melhor forma de organização, dos meios de transporte consoante o local de envio de materiais, tendo sempre em consideração os custos e tempo.

### ***2.3.3 Medições realizadas em transporte***

Durante o último século, tem existido um maior foco e preocupação na medição dos meios de transportes, devido ao facto de existir pouco conhecimento nesta área e à elevada complexidade do sistema [29]. Um esforço deve ser executado para compreender quais os impactos que o ambiente pode provocar no material, quais os mais violentos e os mais comuns. Existem, no entanto, 4 métodos definidos para avaliar o ambiente de distribuição, sendo estes por observação, reclamação do cliente, revisão de literatura e medição direta [34].

- O método de medição, mais direto e no qual podemos obter mais informação, será o de observação. Corresponde a acompanhar a embalagem no seu trajeto, registando todos os eventos.
- A reclamação de clientes é um bom método de perceção se os produtos chegaram corretamente ao destino. No entanto, existem dificuldades na localização do problema e na sua caracterização. Neste tipo de método, as embalagens quando devolvidas ao fabricante não estão embaladas da mesma forma que foram expedidas, provocando incompreensões nas medições.
- O método mais utilizado é a revisão do que foi feito no passado, obtendo análises de testes realizados com embalagens, da forma a compreender o seu sistema de transporte. A dificuldade pode, por vezes, estar ligada com a data na qual os testes foram realizados, tornando a informação recolhida incorreta.
- O último método apresentando, e talvez o que se assemelha mais à medição real, é a medição a partir de um aparelho de gravação. É colocado numa embalagem com a mesma forma que um produto, e enviado na rota desejada. As medições possíveis de realizar, estão inteiramente ligadas ao aparelho e ao pretendido avaliar. No entanto, existe desvantagens em utilizar este método, como o elevado preço do aparelho e o tempo de análise de dados.

### ***2.3.4 Embalagem de proteção no transporte***

Juntamente com os dados apresentados anteriormente, conseguimos perceber que o novo material proposto pela empresa, necessita de proteger o produto em diferentes situações no meio ambiente. Com isso, compreendemos quais os limites que devemos explorar e avaliar em casos de transporte. Existem dois parâmetros importantes, a aceleração, causada pelo impacto e a vibração, causada pelo constante movimento nos meios de transporte [30,32].

Os produtos podem ser caracterizados pela capacidade de suportar impactos ou vibrações, quando o seu produto mais frágil suporta determinada vibração [28]. Os estudos revistos prevêem, ao contrário do que era inicialmente expectável, que durante o transporte existe uma maior

probabilidade da existência de vibração excessiva, ao contrário de um único impacto podendo este danificar o produto [27,31].

Os testes devem ser executados às embalagens de proteção ou materiais utilizados levando em conta os dados estudados. Dessa forma, devem ser repensados os parâmetros selecionados, para que, durante o desenvolvimento não exista maior quantidade de material de proteção do que o necessário.

## **2.4 Testes na Indústria da Embalagem**

Um dos principais requisitos da empresa, quando são referidas as embalagens de proteção, é a verificação do desenvolvimento realizado, permitindo que o produto chegue ao consumidor no mesmo estado em que foi produzido. Para garantir essa qualidade e de modo a ser possível validar os desenvolvimentos criados, existem algumas normas importantes a seguir para testar o produto final, bem com os materiais utilizados.

A seguinte fase da revisão de literatura está dividida em duas partes. Inicialmente, será feita uma revisão de quais os testes realizados ao produto final. Existirá especial atenção nas normas definidas pela empresa, com também outras normas utilizadas pela indústria das embalagens.

Numa segunda fase serão revistos alguns pontos importantes relativos ao teste do material que foi proposto estudar. Uma vez que a empresa apresenta produtos de alta qualidade, o material careceu de ser compreendido e aprovado. Alguns limites foram definidos tendo por base parâmetros em normas e outros em atenção aos tipos de transporte.

### **2.4.1 Fragilidade do produto**

Antes de avançarmos para a revisão dos testes, existe um dado importante a referir de modo a entender a necessidade de realização, como também a validação de quais os melhores materiais a utilizar para a devida situação.

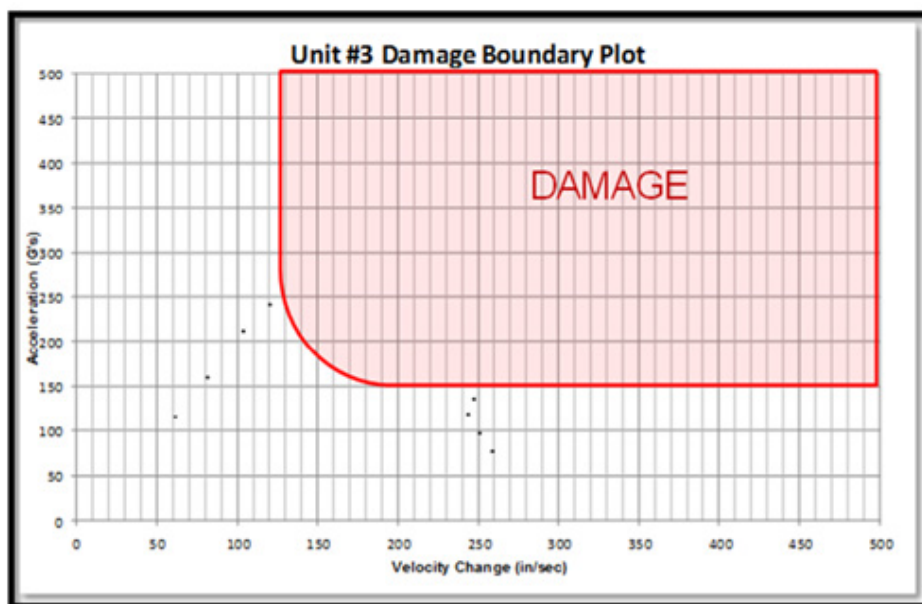
Os produtos eletrônicos, bem como os restantes produtos, são sensíveis a variações de velocidades ou acelerações. Estas, são normalmente sentidas durante o impacto com uma superfície ou durante vibrações no transporte. A capacidade de um produto suportar uma maior ou menor variação pode ser caracterizado como a fragilidade do material [38,39].

Existem métodos para definir a fragilidade de um material, mas a mesma está ligada com a sua frequência natural. O método mais comum para obter a fragilidade de um produto final, é analisar e testar os materiais mais sensíveis, apurando a que acelerações e velocidades os mesmos deixam de funcionar corretamente.

Na empresa, para o desenvolvimento de uma embalagem de proteção, considera-se a força G do produto como um limite que a embalagem de proteção tem de suportar ou reduzir, sendo este valor definido durante desenvolvimento de produto.

No entanto existe um outro método, definido pela norma ASTM D3332 [37], no qual é possível

definir uma região de danos, Figura 12, onde o produto não pode estar inserido. Existem 3 variáveis importantes para definir a região, que são a forma do pulso de choque, a variação de velocidade do pulso de choque, aceleração máxima do pulso de choque [40,41]. Com os 3 parâmetros é possível definir a região de danos que um determinado produto pode estar sujeito.



**Figura 12** – Representação do gráfico da região de danos (Disponível em <Schueneman, Herbert H., "Product Fragility Analysis Made Easy. Westpak, Inc. 2015> Acesso em Jun.2017).

### ***2.4.2 Processos de Avaliação da Empresa***

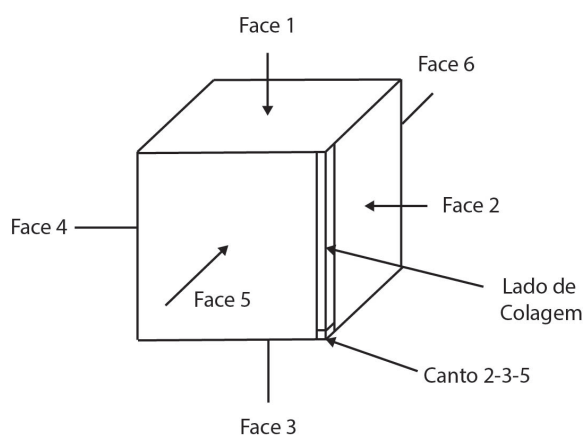
A parte final do desenvolvimento de embalagem, avaliando os danos ou restrições impostas, é a realização dos testes. Nesta fase o material, seja ele de proteção ou da caixa de transporte, já está definido e todo o design e desenvolvimento finalizado. Com isso, a empresa obriga a que cada desenvolvimento possua um conjunto de testes previamente estabelecidos, para validação da embalagem (New ST Standard for Package Testing definition of Test Methods for Transport Packages).

Os testes usualmente utilizados pela empresa, para avaliação das embalagens estão divididos em 4 partes. Uma importante consideração para que a avaliação seja válida, o produto tem de ser sujeito aos testes de forma seguida e feita uma apreciação na fase final, redigindo um relatório.

Antes do começo dos testes, existem algumas verificações a serem realizadas e registradas, para posterior apresentação no relatório final e possível comparação com outros testes. Inicialmente, o produto deve ser todo montado e colocado dentro da embalagem com a respectiva proteção. O fecho da embalagem deve ser realizado com fita cola, caso seja uma caixa de abas ou com um selo, caso seja uma caixa automática ou semiautomática. Posteriormente, devem ser definidas as faces da caixa, conforme mostra a Figura 13, ser retiradas as dimensões exteriores da caixa, em mm e o por fim a massa, em kg.

## Pré condicionamento atmosférico

Ao finalizar a preparação, o primeiro passo é condicionar o produto num laboratório ou câmara climática. Pretendemos dessa forma, uniformizar a temperatura e a humidade relativa a que o produto está sujeito, garantindo assim uma repetição mais exata durante os testes. Em situações que não existe uma informação por parte do desenvolvimento do produto, relativamente aos parâmetros que podem ser alterados, é então utilizado a versão standard de 23°C e 50% de humidade relativa.



**Figura 13** – Representação de todos os fatores a assinalar na caixa de teste (Fonte: Elaborado pelo Autor)

## Teste de Compressão

O segundo teste realizado à embalagem será o teste de compressão. Neste teste, através do peso do produto, obtido pelas medições realizadas anteriormente, é feito um cálculo na força máxima que a caixa tem que suportar para passar no teste, representado na tabela 2.

O software utilizado para este teste permite obter uma curva de força por deslocamento que pode ser aproveitada para posterior análise. No final do teste é analisada a caixa, conferindo que poderá seguir para o teste seguinte sem deformação permanente.

$$FC = [ m * (NE - 1) * A * g ] * B \quad (1)$$

**Tabela 2** – Parâmetros para o cálculo da força de Compressão

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição dos Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>
<b>FC</b>	<b>Força de Compressão</b>	<b>[N]</b>
<b>m</b>	<b>Massa do produto</b>	<b>[Kg]</b>
<b>NE</b>	<b>Número de Embalagens</b>	<b>[uni]</b>
<b>A</b>	<b>Fator de Compensação</b>	<b>5</b>
<b>g</b>	<b>Aceleração da Gravidade</b>	<b>9,81 [m/s²]</b>
<b>B</b>	<b>Fator de Compensação de tempo e Compressão</b>	<b>1,4</b>

### ***Teste de vibração***

O terceiro teste a ser realizado à embalagem é o teste de vibração. O equipamento utilizado para este teste, pretende duplicar os efeitos negativos da vibração de veículos, principalmente os caminhões (Figura 15). Desse modo, o funcionamento do equipamento é realizado por vibração fixa ou oscilação constante. Podemos caracteriza-lo por uma plataforma horizontal, que quando imposta a uma frequência, provoca um movimento linear constante.

Para a realização do teste, a embalagem é colocada na plataforma, com a face 3 virada para baixo e aumentada então a frequência até ao valor pretendido, dependendo do meio de transporte a estudar. A duração deve ser no mínimo de 30 minutos. A seguinte face a sofrer vibração será a face 1, posteriormente a face 2 ou 4 e por fim a face 5 ou 6, todas por um período de 10 minutos. Finalizado o teste, a embalagem é verificada para excluir qualquer deformação que não permita avançar para o teste seguinte.



**Figura 14** – Simulador de vibração do transporte. (Disponível em <<http://www.labequipment.com/v-series/>> Acesso em Jun. 2017.)

### ***Teste de impacto***

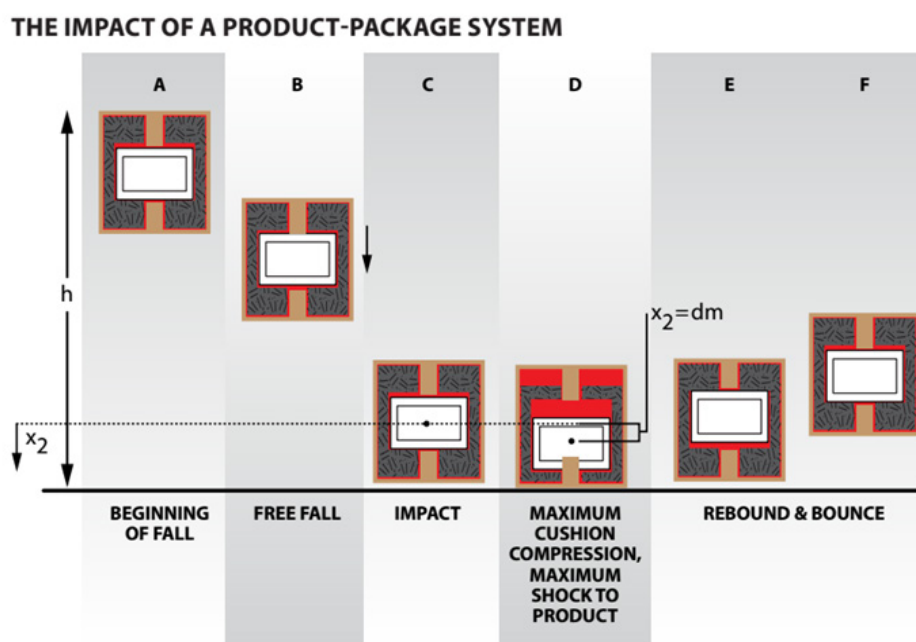
O ultimo teste e talvez o mais agressivo para as embalagens de proteção é o teste de impacto, devido as elevadas desacelerações que podem existir quando o produto colide com uma superfície. Para a empresa este teste é normalmente o requisitado, porque é possível compreender se o material de proteção foi bem corretamente selecionado e desenvolvido.

Na figura seguinte podemos visualizar o comportamento de um produto, proteção e caixa quando o mesmo é libertado de uma altura e sujeito à aceleração de gravidade. A velocidade à qual a embalagem atinge a superfície sólida, permite ao engenheiro de embalagens calcular a energia de impacto que o material de proteção deve ser capaz de suportar. O deslocamento, ilustrado na figura seguinte, representa a capacidade que o material de proteção oferece de absorção de desacelerações e energias de impacto. Quanto mais curto esse deslocamento, o valor de desaceleração que o produto irá estar sujeito é superior.

Novamente, através do peso do produto, a altura de queda é definida tendo em atenção uma tabela desenvolvida levando a cabo alguns pontos como a ergonomia, o peso, a forma da caixa e também a

revisão de normas existentes (ISTA 2A, ISTA 3A). O teste é composto por 10 quedas, inicialmente pelas faces de maiores dimensões até as de menores dimensões. As quedas finais são compostas pelas laterais que tem ligação ao canto mais fraco, definido anteriormente, e por ultimo o canto mais fraco da caixa.

A parte final da avaliação é feita, inicialmente, com a análise da caixa, tendo atenção ao seu aspeto gráfico e se encontra sem danos permanentes, não impedindo assim o transporte. Após essa avaliação é feito a observação ao produto e se o mesmo possui alguns estragos ou danos que impossibilitem o seu correto funcionamento. Esta fase é terminada com a redação de um relatório no qual o colaborador explica os resultados obtidos e valida ou não o desenvolvimento realizado.



**Figura 15** – Ilustração de um impacto numa embalagem com proteção. (Disponível em <“Designing for Optimal Cushioning Performance With Arpro EPP and Arpak EPE”> Acesso em Jun. 2017.)

### ***2.4.3 Estudos à Materia-Prima na Indústria das embalagens***

Um ponto importante para a empresa, na área das embalagens, é uma correta análise das propriedades físicas e mecânicas dos materiais que utilizam. Esta procura pela excelência, obriga a que o material proposto possua uma análise mais pormenorizada. Com isso e devido a uma gama enorme de materiais possíveis de utilizar, o designer tem de ser capaz de escolher qual o que se adequa para cada utilização específica.

Para o material a estudar, foram levantados alguns princípios importantes que deveriam ser abordados, tendo em atenção as várias áreas no qual estaria inserido. Esta revisão permite uma compreensão sobre os quais e como realizar os testes apresentados neste relatório.

## ***Altitude***

Como referido anteriormente o material terá de ser transportado por vários meios, desse modo foi necessário verificar se o mesmo, quando se fala em variações de altitude e pressão, não rebenta durante o transporte aéreo.

Esta variação de pressão pode surgir, tipicamente, de 3 formas principais: avião comercial, avião não pressurizado e camião; o processo de análise proposto pressupõe que os materiais possam ser submetidos aos efeitos de altitudes elevadas ou uma pressurização constante [43,44]. Os valores utilizados, na realização dos testes, foram definidos de acordo com a norma ASTM D6653 - Standard Test Methods for Determining the Effects of High Altitude on Packaging Systems by Vacuum Method [42].

Ao analisar as 3 variações possíveis existem alguns pontos importantes que devem ser tidos em conta.

- Transporte por camião - este pode passar por altitudes elevadas, como exemplo montanhas, originando assim uma diminuição de pressão atmosférica, o que poderá levar, caso o material seja insuflável, a uma expansão do ar no interior e por fim à sua deformação e deterioração. Por norma, os valores de altitudes máximas que são sentidos no transporte de camião poderão chegar até a uma altitude máxima de 3658 metros, o que corresponde a uma pressão atmosférica de 0,64 bar.
- Avião comercial - Estes aviões possuem o porão pressurizado, com uma pressão constante de 0,75 bar, equivalente a uma altitude de 2438 metros;
- Aviões não pressurizados - estes podem subir até uma altitude de até 4877 metros, o que corresponde a uma pressão constante de 0,55 bar;

## ***Temperatura***

Nesta fase da revisão, pretendemos refletir sobre que influência as questões ambientais, como temperatura e humidade, podem afetar o material em investigação. A pesquisa passou, inicialmente, pela verificação do material e os seus dois estados, caracterizados como em vazio e após enchimento. Estes dois estados de funcionamento, contando também com a particularidade de o ar ser o meio de enchimento, obrigaram a um aprofundamento sobre como as possíveis variações da temperatura afetam o material.

Quando ponderadas as questões ambientais, foi pensado como a constante humidade relativa existente no ar, poderia afetar neste caso, não tanto o ar no interior dos alvéolos, mas o filme plástico de que é feito o material.

De forma a obter uma visão geral da dimensão da empresa, sobre quais as temperaturas e humidades relativas que seríamos obrigados a estudar, foi desenhado um mapa mundial (Figura 17), com a marcação de todos os locais com centros de produção e de armazenamento.

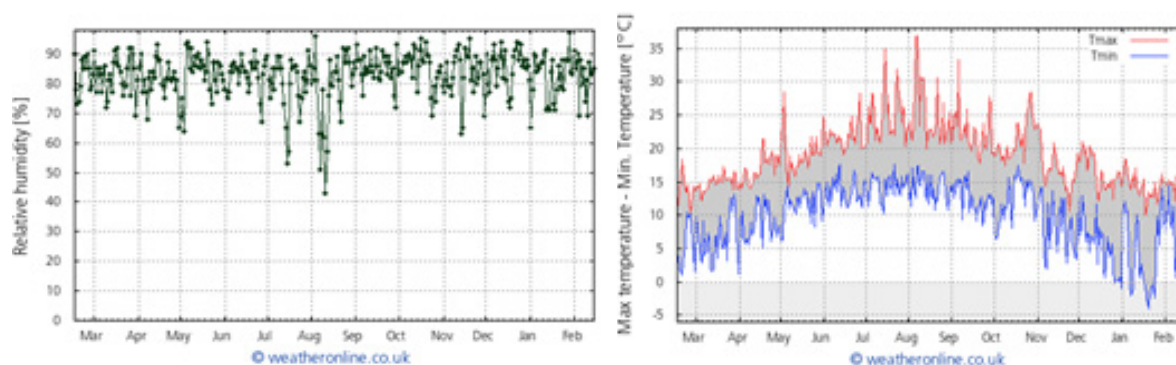
No final da pesquisa, o paradigma geral da empresa continha um total de 8 locais divididos em duas vertentes principais, conforme é apresentado na tabela 2.



**Figura 16** – Representação mundial, dos locais fabris e centros de desenvolvimento, da Bosch Security Systems. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

**Tabela 3** – Representação dos locais por vertente de trabalho.

Centros de Produção	Centros de Distribuição
Portugal - Ovar	Greer
China - Zhuhai	Singapore
México - Hermosillo	Tilburg
Alemanha - Straubing	Lincoln



**Figura 17** – Ovar Fev.2016 a Fev.2017 - Humidade Relativa, Temperaturas, respetivamente. (Disponível em <weatheronline.co.uk> Acesso em Abr. 2017)

Ao finalizar a revisão dos locais e analisando quais as agressões que existiam nesses mesmos ambientes, foi feito um levantamento das temperaturas máximas e mínimas, da humidade relativa e igualmente da pressão atmosférica. As variações apresentadas, na Figura 18, são referentes a 1 ano de medições em Ovar, no local de produção em Portugal.

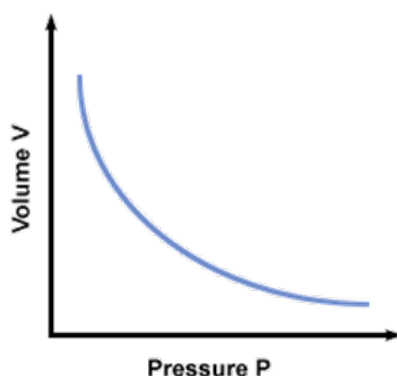


## Compressão

O comportamento do material, quando imposto a uma situação de esforço, encontra-se para além do seu estado natural e permite ao utilizador separar e compreender a sua natureza. Sendo o material uma junção de ar, tratado aqui como um fluido, e um filme de polímero, é necessário averiguar alguns possíveis efeitos que estejam adjacentes ao ambiente circundante.

$$P_i * V_i / T_i = P_f * V_f / T_f \quad (2)$$

Os testes de compressão permitiram obter dois importantes resultados no final da sua realização. Os resultados serão as pressões máximas a que o filme plástico pode estar sujeito e também qual o peso máximo que podemos utilizar nos produtos. Para isso, é necessário rever e compreender o material e métodos para analisar esse comportamento.



**Figura 18** – Gráfico de Volume/Pressão. (Disponível em <<http://chemistry-reference.com/gases/>> Acesso em Jun. 2017)

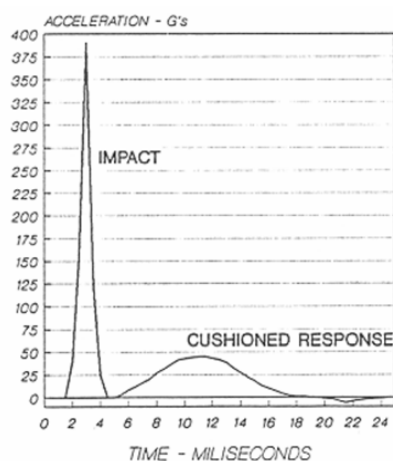
Como retratado anteriormente, o ar que é utilizado para insuflar o material e produzir o amortecimento, deve ser considerado como um fluido. De uma forma simples, esse fluido tem um comportamento, pelas leis da termodinâmica, igual ao de um gás ideal, de forma que existe uma relação direta entre a pressão no interior, o volume dos alvéolos e a temperatura a que se encontra. Dessa forma, podemos descrever o estado da matéria por uma equação termodinâmica dependente de um dado conjunto de condições físicas.

Pela equação apresentada, referente à Lei Boyle-Mariotte, conseguimos compreender que a pressão no interior pode aumentar com a diminuição do volume, isto deve-se ao facto de as moléculas de ar no interior possuírem um espaço menor, sendo que existe um maior contacto entre elas. A temperatura, ao contrario do volume, provoca um aumento de pressão com o seu aumento devido a maior excitação e interação entre as moléculas.

## Impacto

Nesta fase, iremos rever como e quais as informações que podemos obter, referentes ao material, dos testes de impacto. Um dos pontos essenciais para a empresa, anteriormente referido na revisão de literatura, é a capacidade de absorção de acelerações ou energias de impacto que as matérias primas podem fornecer. Nesse sentido, estas capacidades de proteção permitem uma inicial caracterização do material, sendo um dado importante a referir quando analisamos desenvolvimento de embalagens de proteção.

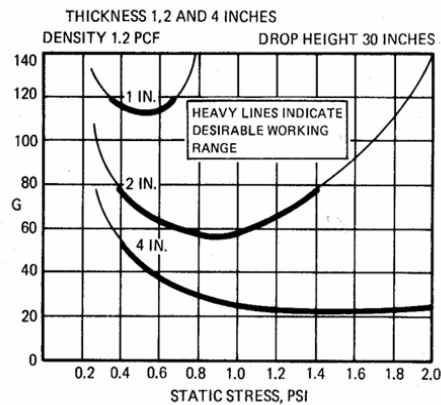
Os testes de impacto permitem uma simulação, em laboratório, das agressões nas quais o produto está sujeito durante transporte [47]. O método de simulação adotado, descrito na norma ASTM 1596 [44], é designado pela medição do valor de aceleração que uma plataforma horizontal sofre quando deixada cair de uma determinada altura. A seguinte medição da aceleração é processada então por um acelerómetro e recebida por um software, gerando um gráfico (Figura 20).



**Figura 19** – Gráfico de pico de aceleração.

(Disponível em <Schueneman, Herbert H., "Cushion Engineering, Design and Testing". Westpak, Inc.>  
Acesso em Mai. 2017.)

As informações das acelerações máximas, registadas nos gráficos, permitem ao 'designer/engenheiro' desenvolver um conjunto de curvas que descrevem a capacidade de absorção de energia de impacto do material (Figura 21). Estas relacionam a aceleração absorvida pelo material com a capacidade de suportar uma carga por unidade de área, descrevendo assim o amortecimento de determinado material [46,48]. Numa fase inicial o seu desenvolvimento esteve maioritariamente centrado nas espumas devido a sua ampla utilização, variação de densidades e espessuras. No entanto, o desenvolvimento destas curvas é bastante demorado, devido à quantidade de informação necessária de processar para a representação de uma única curva.



**Figura 20** – Gráfico de curvas de amortecimento.

(Disponível em <Schueneman, Herbert H. and Escobedo M., "Package Drop Testing: The Do's and don't's of Package Impact Performance Tests". Westpak, Inc.> Acesso em Mai. 2017.)

Foi proposto por Gary Burgness, em 1990, o desenvolvimento de um método para mais facilmente obter os dados relativos às curvas de amortecimento. Juntamente, Matthew Daum [45] explica e define um processo simplificado chamado "Stress-Energy Method" [49], caracterizado de duas formas:

- Qual a quantidade de energia que um material de amortecimento consegue absorver, ao mesmo tempo que está a sofrer uma carga.
- As propriedades dos materiais de amortecimento podem ser descritas pela capacidade de carga, altura de queda, espessura do material e a força G absorvida.

Em suma, este método permite caracterizar o material que pretendemos estudar, a partir de uma única equação logarítmica. Através dos mesmos valores de acelerações obtidos anteriormente pelos testes de impacto, é possível realizar uma análise de dados aos mesmo e reformular a sua utilização em diferentes parâmetros. Nesse sentido, existem algumas vantagens na sua utilização como a redução do tempo e o número de testes necessários realizar para a obtenção das curvas. Numa fase final será possível calcular o valor de força G a partir do peso do produto, da altura de queda e da densidade do material utilizando como meio a equação desenvolvida.



## **Metodologia e Desenvolvimento**

### **3.1 Metodologia para a resolução do problema**

Ao ser finalizada a revisão de literatura e explicação de qual o problema que a empresa pretende resolver, tentaremos agora mostrar quais os passos tomados, para completar o desenvolvimento do projeto. Como referido anteriormente, existem um número de aspetos importantes a abordar, para que o material possa ser utilizado sem qualquer inconveniente por parte dos colaboradores.

Para a resolução do problema, o material será sujeito a uma quantidade de testes, ultrapassando o nível de utilização. Esta abordagem garante assim que o produto funcionará nas condições usuais, utilizando um fator de segurança nos testes. Uma adaptação a alguns conceitos revistos será realizada, para que o conhecimento sobre o material aumente e possa ser comparado com os restantes materiais usualmente utilizados na indústria das embalagens.

Tentaremos analisar o máximo de informação possível e comparar com a já existente, obtendo algumas importantes informações sobre o material, relevantes para futuros desenvolvimentos.

### **3.2 Abordagem ao problema**

A forma como a metodologia está pensada, obrigou a um desenvolvimento constante em várias áreas, pelo que, os assuntos abordados nesta fase são um resumo dos diferentes passos tomados durante o desenvolvimento.

Numa fase inicial, será analisado o “Stress-Energy Method”, examinado na revisão de literatura, para a criação das curvas de amortecimento do material. Dessa forma, foi proposto o desenvolvimento e posterior construção de um equipamento próprio para a realização dos testes, na qual obteremos os valores das acelerações. Será feita uma descrição dos passos tomados como as escolhas dos materiais, fornecedores e constrangimentos durante a construção.

Numa segunda fase, são apresentados quais os testes realizados ao material. Em cada teste proposto, existe uma explicação da metodologia que se pretende utilizar, referências às amostras utilizadas e os parâmetros escolhidos.

### **3.3 Início do desenvolvimento**

#### ***3.3.1 Equipamento de choque***

O conhecimento sobre as capacidades dos diferentes materiais, permite ao ‘designer/engenheiro uma melhor perceção do material. Com o intuito de fornecer à empresa os dados e conhecimento adquirido na revisão de literatura, foi proposto e desenvolvido de um equipamento, semelhante

aos existentes em laboratórios especializados.

Para além da necessidade da sua implementação, devido à sua inexistência nas instalações da fábrica, tornou-se um bem essencial para uma melhor compreensão do material Air Pack. Como o material possui reduzida utilização em aparelhos eletrónicos de alta precisão, a existência de dados técnicos e fidedignos é bastante reduzida. Não só permitirá a obtenção de dados, mas também uma compreensão das capacidades de absorção de impactos do produto. Poderá também suscitar uma pesquisa no futuro para outros materiais como espumas, cartões e polpa.

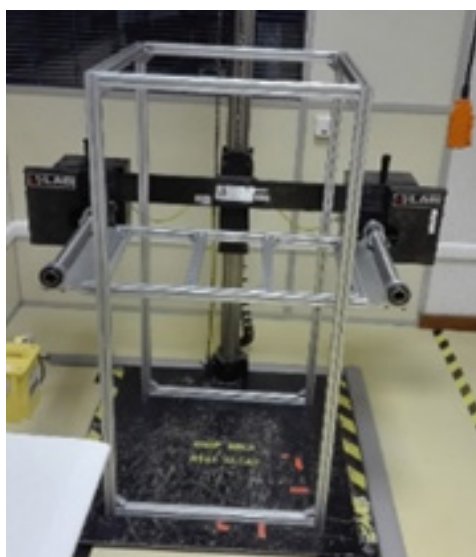
No decorrer da revisão de literatura foi possível apurar que, de forma a manter o valor do gasto do desenvolvimento baixo, não seria possível comparar o mesmo com as máquinas previamente desenvolvidas por laboratórios especializados. Foi tido um elevado cuidado em aproximar ao máximo todas as semelhanças e pontos essenciais, para que o aparelho registasse os valores da forma mais correta.

Existem algumas patentes importantes que foram tomadas em atenção, normalmente referidas como 'Estruturas de absorção de Choques' [50,51,52]. O equipamento consiste num prato horizontal, previamente agarrado a guias de deslocamento linear, que permite assim um choque vertical correto e sem desvios.

Para o desenvolvimento foi também tido em conta duas normas ASTM 1596 e ASTM 4168 [44, 53], nas quais são descritos os métodos para a realização dos testes de amortecimento e obtenção das acelerações. Consequentemente é feita uma descrição dos vários aspetos a levar em consideração para a realização correta dos testes.

### ***Descrição da máquina para testes de amortecimento em materiais de embalagem***

Foi tomada uma direção que pudesse complementar uma máquina já existente na empresa, conforme pode ser visto na figura 22. Este desenvolvimento servirá com um complemento para a empresa e não um novo equipamento exclusivo para determinado efeito.



**Figura 21** – Equipamento de testes de impacto

Alguns parâmetros importantes foram tidos em consideração.

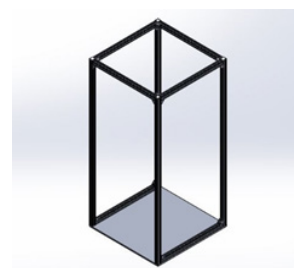
- A estrutura necessitava de ser resistente, para que ao realizar os testes o movimento vertical não desnivelasse o sensor colocado no tabuleiro de impacto. Necessitava de possuir as capacidades de versatilidade e fácil montagem, visto não haver um espaço de grande dimensão para a sua implementação.
- O aparelho não pode ser considerado autossuficiente. O projeto foi desenvolvido para que o seu funcionamento seja em parceria com o equipamento para testes de queda, já existente na empresa.
- Os dados obtidos deveram ser cuidadosamente analisados e efetuar uma verificação dos possíveis erros na medição dos valores.
- O aumento de altura, necessário para validar o material, será obtido através da parceria com o equipamento, não existindo a necessidade de projetar um sistema que produzisse o deslocamento vertical do tabuleiro.
- Para a obtenção de vários valores de desacelerações, foi necessário um aumento de massa no tabuleiro. De nenhuma forma, este aumento deverá prejudicar as dimensões ou algum tipo de vibrações excedentes durante o impacto. Igualmente deve permitir uma fácil implementação e versatilidade dos pesos.
- Sendo este, um equipamento que precede da necessidade de produzir um choque em queda livre, foi necessário garantir ao máximo a redução de atrito existente nas guias. A estrutura foi o ponto de partida para esta solução, mas as guias e patins necessitaram de garantir da melhor forma que esse atrito continuasse perto do valor mínimo.

## ***Partes constituintes do Equipamento de Testes***

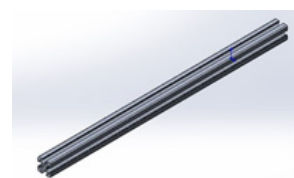
### **Estrutura**

A primeira fase do desenvolvimento passou pela criação de uma estrutura compacta, permitindo a colocação dos restantes componentes de uma forma prática e viável. Foi igualmente necessário, garantir que a mesma conseguia ser reajustada caso existisse necessidade. Podemos ver na figura 23, uma imagem da estrutura na parte final, gerada com o software Solidworks.

Os primeiros componentes, iriam providenciar a criação da estrutura, para isso, foi pensado e realizado um levantamento de todas as possibilidades de materiais para fácil construção. Deste modo, foram escolhidos perfis de alumínio 30x30mm (figura 24), da empresa Rexroth. As dimensões dos perfis para estrutura foram as seguintes: 4 perfis de 1300mm e 6 perfis de 570mm, desta forma foi possível construir uma estrutura estável.



**Figura 22** – Desenvolvimento da estrutura.



**Figura 23** – Perfis de alumínio.

O método de ligação dos perfis foi revisto, mas devido à facilidade de implementação e a existência deste tipo de material na empresa, da qual foram selecionados os perfis, foi tomada a decisão de utilizar cantos de 90°, selecionados para os perfis em questão. Para a construção da estrutura foram utilizados 16 cantos com dimensões de 30x30, sendo possível ver na figura 25 um exemplo da sua aplicação.

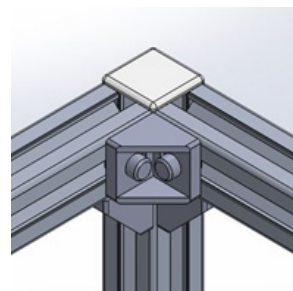
Devido a rugosidade no topo dos perfis de alumínio, foi decidido utilizar tampas poliméricas permitindo alguma proteção de arestas e cantos vivos, podendo estes produzir algum dano no utilizador durante a utilização. Para além das preocupações técnicas e de segurança, foi percebido que a utilização das tampas transmitia uma nova aparência à máquina, sendo também uma das razões para a sua utilização. As dimensões selecionadas são destinadas para os perfis escolhidos tendo assim 30x30mm e feitas de nylon 6, sendo possível visualizar na figura 26.

Na parte final, do desenvolvimento da estrutura, foi discutido que poderiam existir alguns problemas de flexão, nos perfis de maior comprimento, devido ao aumento de peso que iria ser imposto e ao constante deslocamento do tabuleiro de impacto. Para que essa deslocação, por mais pequena que pudesse ser, não influenciasse o nivelamento do tabuleiro e das guias, provocando assim atrito e influenciando os resultados, foi proposto e desenvolvido uma chapa de alumínio figura 27 com 10mm de espessura, que servirá de parede de impacto.

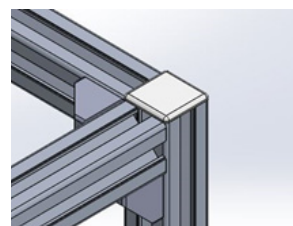
A chapa possui dimensões de 630x630mm e será aparafusada aos perfis, Figura 27, em 8 pontos diferentes garantindo assim uma correta ligação entre a estrutura, impossibilitando a deslocação lateral dos perfis. Contudo, foi necessária a maquinação da chapa, para que os parafusos na parte inferior não produzissem nenhum relevo em contacto com o chão como pode ser visto pela figura 28.

### Tabuleiro de Impacto

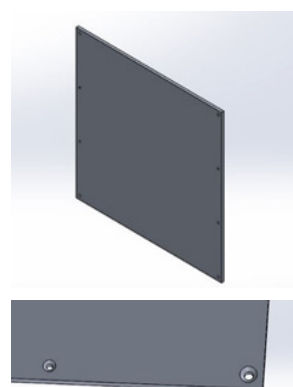
De forma a ser possível realizar os testes, uma segunda parte foi desenvolvida. Utilizando o mesmo pensamento, o tabuleiro de impacto foi igualmente pensado de forma a reduzir quaisquer custos excedentes e permitindo a flexibilidade de montagem e futuros melhoramentos. Nesse sentido, o deslocamento descendente será realizado pela aceleração da gravidade e o ascendente será executado manualmente.



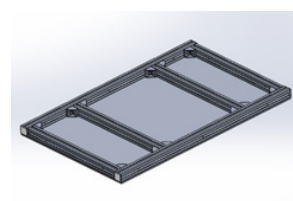
**Figura 24** – Canto 90°.



**Figura 25** – Tampa polimérica para perfil de alumínio.



**Figura 26** – Chapa de Alumínio colocada na parte inferior da estrutura..



**Figura 27** – Desenvolvimento do tabuleiro de impacto.



Os componentes principais que formam a estrutura do tabuleiro são perfis de alumínio de 30x30 da empresa Rexroth. Foram utilizados 2 perfis com dimensões 750mm e 4 perfis de dimensões 450mm. Conforme foi apresentado anteriormente para a estrutura exterior da máquina, neste caso foram utilizadas as mesmas precauções e cuidados relativos ao utilizador. O método de ligação dos perfis será feito por cantos idênticos à estrutura, proveniente da empresa. Foram colocadas 4 tampas nos topos dos perfis com o intuito de proteger o utilizador na fase de movimentação manual do tabuleiro.

Através das normas estudadas e das patentes revistas, foi necessário desenvolver um tabuleiro plano. Para isso uma chapa de alumínio com 4mm de espessura foi desenvolvida, figura 30, possibilitando assim uma face plana na altura de impacto e uma versatilidade de mudança de chapa caso exista a necessidade. Existiu a necessidade de maquinar a chapa para que pudesse ser ligada a estrutura, figura 29.

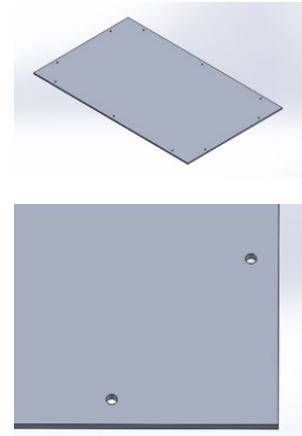
O método de conexão da chapa à estrutura do tabuleiro foi feito a partir de parafusos M6 e porcas. Uma visualização dessa ligação é vista na figura 30, onde pode ser compreendido que os parafusos ficaram exteriores à chapa, mas não impedindo o choque, visto que a espessura do material a testar terá sempre um valor superior à distancia máxima dos parafusos.

Para que seja possível a obtenção de vários valores de desacelerações e posteriormente possam ser avaliados, existiu a necessidade de as medições serem feitas com pesos diferentes. Nesse sentido, através das patentes estudadas, houve um desenvolvimento de chapas que serão conectadas ao tabuleiro de impacto. Exemplo de uma conexão na figura 31.

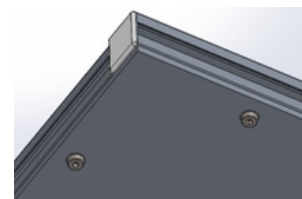
A chapa é feita de aço com 4 mm de espessura e possui 4 furos de 6mm de diâmetro para que possa ser conectada ao tabuleiro como pode ser revisto na figura 31.

## Guias Lineares

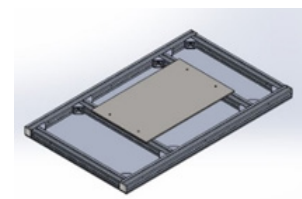
Ao longo do desenvolvimento foi questionado qual o melhor método para permitir que o tabuleiro realizasse um movimento vertical correto, nivelado e com a mínima existência de atrito. Alguns conceitos foram criados, mas após ter existido uma conversa com o fornecedor Igus, houve um entendimento balançando o custo, como de pesos e cargas que existiriam nas guias.



**Figura 28** – Chapa de alumínio para tabuleiro de impacto.



**Figura 29** – Parafuso e conexão em T.



**Figura 30** – Chapa de aço inox para aumento de massa do tabuleiro.

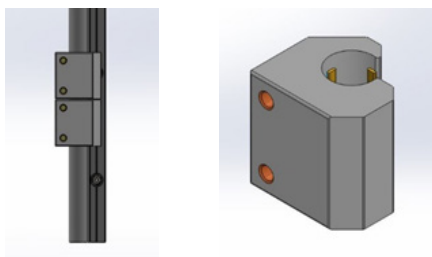


**Figura 31** – Guias lineares e patins de deslocamento.

Um princípio da máquina, é garantir a aceleração de queda igual a um corpo em queda livre. Desse modo, a existência de atrito deveria aproximar-se o mais perto de nulo. O fornecedor sugeriu que fossem colocadas 4 guias lineares nos 4 pilares de sustentação da estrutura. Guias estas de referência WS 20 com 1100mm de comprimento permitindo assim um melhor nivelamento durante a queda.

Realizada a escolha das guias, a segunda parte do desenvolvimento com o fornecedor foi a proposta dos patins que iriam deslizar sobre a guia. Não houve uma obrigação para a existência de precisão no movimento nos patins, sendo que este era livre e provocado pela gravidade. No entanto, o peso máximo que iria ter de ser suportado seria de 70 quilogramas, algo que o fornecedor teve que levar em consideração quando sugeriu uns patins híbridos de duplo rolete.

Os patins de referência WJRM-21-20 possuem algumas qualidades importantes que levaram à sua escolha. O atrito reduzido que tem devido aos dois roletes existentes e uma forma côncava permitem uma melhor aderência e maior dissipação das cargas existentes. A existência dos roletes permitiu um reduzido ruído de funcionamento e também a inexistência de lubrificante durante funcionamento. Desse modo foram colocados dois patins em cada guia conforme pode ser visto na figura 33.

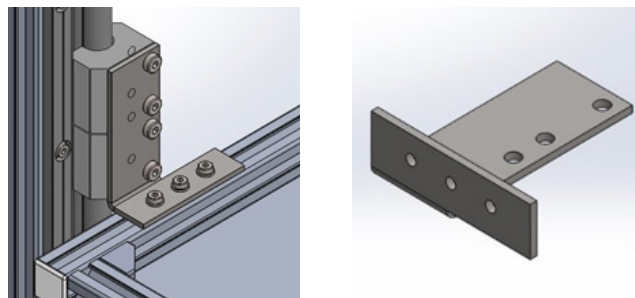


**Figura 32** – Colocação nas guias lineares e representação dos patins no software solidworks.

## Montagens Finais

Ao ser finalizado toda a construção das partes constituintes da máquina, houve a necessidade de conjugar essas partes numa só. Com isso, foi necessário desenvolver uma peça que produzisse a ligação entre o tabuleiro de impacto aos patins. A peça em questão foi desenvolvida inicialmente no software Solidworks (figura 34) e posteriormente maquinada por um fornecedor. O material escolhido foi aço inox, visto ter as propriedades pretendidas de redução de flexões e elevada capacidade de resistência ao choque.

A representação da ligação entre o tabuleiro e estrutura é apresentado na figura 34. Considerando as vibrações que poderão existir durante o impacto, transferidas para o sensor que irá ser colocado para medir a diferença de velocidades, a peça tem uma espessura de 4mm e possui 4 furos de 8mm de diâmetro, que permitem o acoplamento com os patins e 3 furos de 6mm de diâmetro que permitem a ligação com o tabuleiro de impacto. Esta ligação é feita nas 4 guias que estão ligadas com os perfis da estrutura, de modo a permitir um melhor nivelamento durante a queda.



**Figura 33** – Desenvolvimento das chapas quinadas e conexão da estrutura com tabuleiro de impacto.

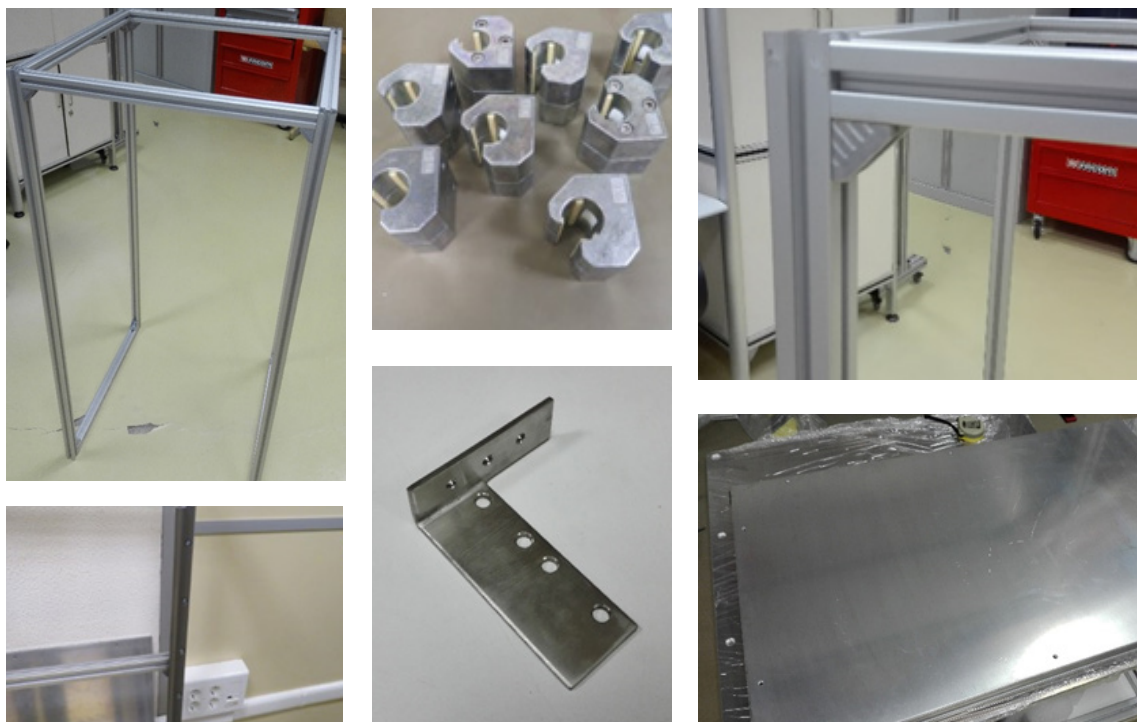
### ***Construção do equipamento de testes***

Após a conclusão da parte do desenvolvimento do equipamento de testes, foi necessário passar à construção real. Os primeiros passos na fase de construção, foram a procura de fornecedores para as peças que precisam de ser maquinadas e para os perfis de alumínio.

Os perfis de alumínio foram comprados à empresa Rexroth, com um comprimento de 6m cada e cortados aos comprimentos pretendidos na oficina da empresa. Os parafusos e porcas foram também fornecidos pela empresa e levantados na oficina.

Ao serem obtidos os primeiros materiais, foi possível começar a construção da estrutura e do tabuleiro de impacto. O restante material foi entregue, havendo alguns atrasos, não existindo nenhum impedimento na construção. Foram recebidas as peças que necessitaram de maquinação como pode ser visto nas figuras.

O restante material foi também recebido, como as guias lineares e os patins de deslizamento pertencentes a empresa IGUS, como pode ser visto nas figuras.



**Figura 34** – Materiais e construção do equipamento de testes.

Concluída a receção do material foi necessário proceder à montagem final do equipamento. Começou por ser montada a chapa de alumínio do tabuleiro de queda, verificando se as dimensões seriam as corretas a partir dos desenhos técnicos entregues.

A chapa inferior que iria suportar os impactos e dar o suporte final à estrutura cubica foi colocada no local destinado e apertada com parafusos, encaixando perfeitamente. O passo seguinte foi colocar as guias lineares e os patins de deslizamento. Inicialmente foi verificado o comprimento das guias, para confirmar que estavam corretos e depois foram aparafusadas à estrutura, deixando um espaçamento de 5mm do chão da estrutura.

Antes de colocar os patins nas guias lineares, os mesmos foram juntos em pares e aparafusados às chapas quinadas, existindo aqui alguma dificuldade de ligação devido a estas chapas não estarem de acordo com os desenhos técnicos. Para finalizar a montagem, os patins foram colocados nas guias lineares e ajustado a folga para um livre deslizamento, sem nunca o conseguir.

Conclui-se a montagem tentando ligar as chapas quinadas com o tabuleiro de queda, mas isto foi impossível devido às chapas não estarem corretamente dobradas e os furos devidamente alinhados.

### ***Constrangimentos durante o processo de construção***

esta fase serão apresentados os problemas que surgiram durante a montagem, quais os possíveis passos a seguir, tentando tentar ajustar as peças sem reformular totalmente o projeto. De acordo com o apresentado anteriormente, existiu uma fraca maquinação das peças quinadas, onde apareceram os seguintes problemas.

- As peças não estavam quinadas a 90° como era apresentado nos desenhos técnicos. Em análise mais aproximada, não existia uma igualdade de peças, sendo que dimensões gerais alteravam entre elas.
- Os furos definidos nos desenhos técnicos encontravam-se desalinhados por mais do que as tolerâncias definidas. Para além dos desalinhamentos, os furos não foram realizados nos locais corretos.

As figuras permitem obter uma visualização dos problemas apresentados anteriormente.

Dessa forma, ao efetuar a ligação entre as placas/patins e o tabuleiro de queda surgiram dificuldades ao apertar os parafusos, o que impossibilitou a montagem final antes do arranjo das peças maquinadas.

Nas imagens seguintes, são apresentadas algumas melhorias pensadas para a resolução dos problemas de desalinhamento dos furos e alívio de possíveis torções nas peças. A cavidade onde o parafuso iria ser colocado foi alargada, permitindo um melhor alinhamento das peças.



**Figura 35** – Constrangimentos nas chapas quinadas.

### ***Segunda Fase de desenvolvimento***

Na segunda fase de desenvolvimento e tendo chegado à conclusão que as peças inicialmente projetadas não iriam ser possíveis de utilizar, optou-se por experimentar uma solução mais simples.

Tentando aproveitar os cantos utilizados na construção da estrutura, foi realizado um teste de queda, devido aos mesmos garantirem uma esquadria perfeita. Foram utilizados na ligação entre os patins, unidos às guias lineares, e o tabuleiro de impacto. Nas figuras seguintes é possível observar qual o estado e aparência da construção.

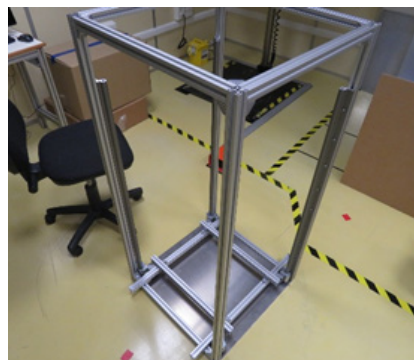
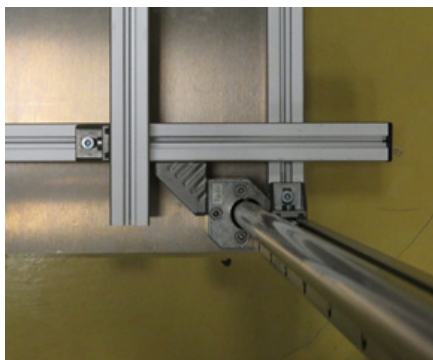
De modo a verificar se esta solução poderia melhorar o deslizamento e reduzir o aparecimento de atrito entre os patins e as guias lineares, em relação ao primeiro desenvolvimento, foram realizados alguns testes de queda. Ao serem finalizados, conseguimos rapidamente perceber que esta solução não seria a mais indicada para a resolução do problema.

Existindo alguma facilidade no deslizamento do tabuleiro, esta solução apresentou os seguintes problemas.

- Seria obrigatório um paralelismo perfeito entre as guias de modo a ser possível realizar um correto deslizamento.
- A estrutura exterior do equipamento necessitava de possuir mais algumas restrições de movimento, de modo a que, ao realizar a queda não existisse nenhum deslocamento horizontal da estrutura criando por isso prisão nas guias.
- O uso de um patim por guia impossibilitou também o correto deslizamento, algo que foi discutido com o fornecedor para tentar perceber qual a solução a escolher.

Ao serem revistos estes pontos, verificou-se que não existia um correto deslizamento do tabuleiro. Dessa forma a segunda fase de desenvolvimento teria de ser revista. O projeto passou então para uma terceira fase de desenvolvimento, onde todos os problemas encontrados foram tidos em consideração.

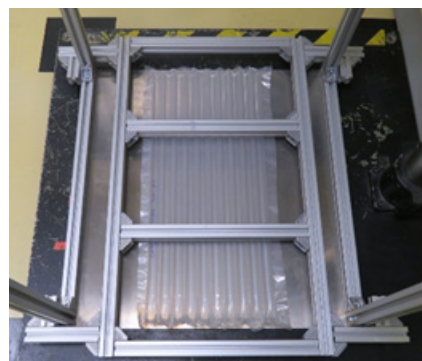




**Figura 36** – Ligações entre estrutura e tabuleiro de impacto.

### ***Terceira Fase de desenvolvimento***

Para a conclusão do desenvolvimento do equipamento, foi necessário proceder à realização de um 3º desenvolvimento, sendo neste caso feita uma reformulação de como o tabuleiro deveria proceder à queda. Concentrando nos erros realizados anteriormente e nas aprendizagens desses erros, a solução encontrada, passou inicialmente, por remover as guias lineares e os patins, sendo este o mecanismo que estaria a causar problemas. O tabuleiro de queda, nesta solução, encontra-se totalmente independente da estrutura exterior, sendo que não haverá nenhum problema de atrito ou prisões durante a utilização. Foram colocados na parte exterior da estrutura umas peças, também em perfil de alumínio, que permitiriam um mínimo alinhamento durante a queda, de modo que o tabuleiro não saísse para fora da zona delineada de impacto. As seguintes figuras mostram como essa montagem foi efetuada.



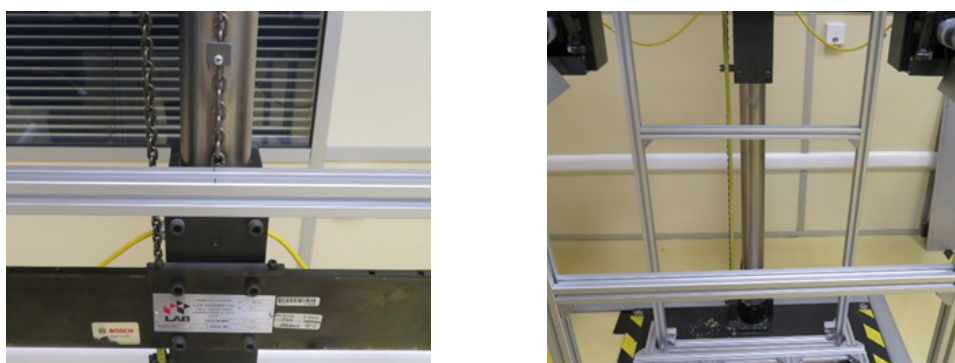
**Figura 37** – Ligações entre estrutura e tabuleiro de impacto.

Com a remoção das guias lineares existiu uma nova serie de questões, que precisaram de ser respondidas, sobre qual o funcionamento do mecanismo e como iríamos garantir que o tabuleiro efetuasse a queda centrada e plana na amostra.

- Não existindo nenhuma ligação entre a estrutura exterior e o tabuleiro de queda foi necessário proceder a algumas verificações se o mesmo efetuava um impacto paralelo ao solo e à amostra.
- Quais as distancias mínimas que deveríamos permitir nestas peças em L, em ambos os eixos, para que não existisse atrito, mas a queda ocorresse o mais corretamente possível.
- Como iria ser procedido o levantamento do tabuleiro após a queda.

- Devido ao tabuleiro ser por vezes deixado cair de alturas elevadas, como seria possível garantir que a estrutura não sofreria nenhum dano ou movimento durante o ensaio de teste.

As questões levantadas anteriormente permitiram estudar quais os problemas que poderiam surgir, dessa forma antes de assumirmos que esta solução seria a correta para realizar os testes, foram efetuados ensaios de avaliação. Os resultados destes ensaios foram positivos, visto que o tabuleiro efetuava um impacto plano contra a amostra, medindo corretamente o valor da desaceleração. Durante os testes foi verificado que a estrutura deveria ser alinhada com a máquina de testes, à qual foi acoplada obtendo assim os melhores resultados possíveis. Ao considerar o desgaste da estrutura e os deslocamentos que iria sofrer com a utilização, foram colocadas duas barras de perfil de alumínio na lateral aumentando assim a rigidez da estrutura, prolongando a sua vida útil.



**Figura 38** – Alinhamento e reforço do equipamento de testes.

### ***3.3.2 Estudo da variação das dimensões gerais***

O material a ser estudado possui algumas propriedades bastantes interessantes, como a possibilidade de ser insuflado por ar, seja este proveniente de um compressor de ar ou até mesmo de uma pequena bomba. Esta característica torna o material bastante versátil, com um número de configurações elevadas visto que o ar se desloca para onde as suas partículas estão mais estáveis. Estas particularidades obrigam ao estudo sobre a influência do ar.

Nesta fase pretende-se estudar qual o impacto que o ar tem no alvéolos, considerando alguns pontos:

- Como a pressão de enchimento influencia as dimensões finais dos alvéolos de insuflação?
- Como as dimensões do material variam após o enchimento?
- Que impacto, pode esta diferença de dimensões, influenciar a escolha das dimensões iniciais?
- Quando se efetua um pedido de amostras ao fornecedor, quais as dimensões selecionar, de modo a que o produto venha corretamente dimensionado à peça que pretendemos proteger.
- Esta diferença é observada em que direções do material? Na direção de enchimento dos alvéolos ou perpendicular às amostras?

De forma a simplificar o entendimento proposto, para o método de construção e os testes realizados, foram considerados dois estados fundamentais do material.

- O estado de vazio, onde o material encontra-se como foi produzido. Neste estado as dimensões que o material possui são as fornecidas pelo fornecedor.
- O estado insuflado, no qual o material já foi cheio com ar e as dimensões podem variar das inicialmente definidas.

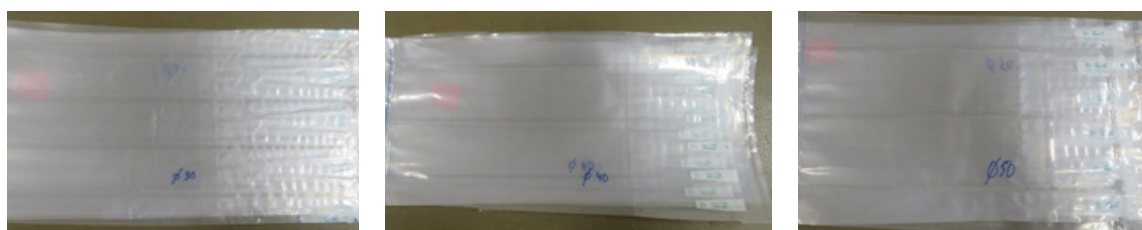
## Amostras

Para o estudo da variação das dimensões, houve uma proposta de um número de amostras a serem testadas, com diferentes pressões de enchimento e igualmente diferentes diâmetros dos alvéolos. Na tabela seguinte é possível visualizar as diferentes amostras selecionadas.

**Tabela 4** – Amostras selecionadas e características.

Amostras	Pressão de Enchimento [bar]	Diâmetro de camara [mm]	Dimensões		
			Vazio		
			Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]
1	0,5	30	235	90	0,2
2		40	230	80	0,2
3		50	235	100	0,2
4		60	230	120	0,2
5	1	30	240	90	0,2
6		40	230	80	0,2
7		50	225	100	0,2
8		60	230	120	0,2
9	1,5	30	235	90	0,2
10		40	230	80	0,2
11		50	225	100	0,2
12		60	230	120	0,2

Para o teste a ser realizado e a partir da tabela, é possível observar um total de 12 amostras onde as mesmas variam nos respetivos diâmetros. As pressões de enchimento foram divididas em 3 grupos, de modo a verificar que influência poderiam causar após o enchimento. Os comprimentos foram todos mantidos na ordem dos 230 mm com o intuito de facilitar as medições e futuras comparações.



**Figura 39** – Conjunto de amostras separados por diâmetros. Ø30. Ø40. Ø50.



### ***Parâmetros para o estudo e material***

Neste teste foi utilizado uma linha de ar comprimido existente na empresa com uma pressão máxima de 6 bar. Para que fosse possível obter as pressões pretendidas foi utilizado um regulador de pressão. Uma vez que a precisão, existente nos valores utilizados, poderia provocar erros de medição, os mesmos não foram considerados, uma vez que a intenção do teste foi obter as variações das dimensões após enchimento e não a exatidão da pressão de enchimento.

### ***Metodologia***

A metodologia utilizada, para a realização dos testes e compreensão das possíveis causas da utilização de ar, é descrita nos seguintes pontos.

- Selecionar as amostras dividindo pelos diâmetros distintos. No caso analisado foram selecionados os diâmetros de 30, 40, 50 e 60 mm.
- Cortar as amostras com as dimensões especificadas na tabela 2.
- Proceder a referência das amostras com o respetivo diâmetro e a pressão, conforme é apresentado na figura 42.
- Separar as amostras pelos respetivos grupos de pressão. No caso em estudo foram selecionados 0,5, 1 e 1,5 bar de pressão.
- Proceder ao enchimento das amostras com a respetiva pressão indicada.
- Verificar quais as dimensões finais das amostras e registar os valores para futura avaliação.
- Proceder à comparação e avaliação dos resultados obtidos.

Ao ser terminado a fase inicial da metodologia, e após o enchimento com ar comprimido, as amostras finais devem ser semelhantes à figura 42.



**Figura 40** – Exemplo de amostra de Ø50 mm e pressão de 1.5 bar.

### ***3.3.3 Teste de Vácuo***

A seguinte fase propõe uma melhor perceção de qual o comportamento do material – Air Pack – durante o transporte, no qual as diferentes pressões, relativas às variações de altitude, poderão de algum modo deformar o material. Juntamente com a revisão realizada anteriormente, qualquer tipo de transporte que inclua uma variação elevada de altitudes deve ser considerado neste relatório.

## Amostras

Para que o teste realizado, pudesse da melhor forma colmatar todas as possíveis ocorrências durante o transporte, as amostras selecionadas tiveram em atenção, tanto as diferentes pressões de enchimento como também os diferentes diâmetros dos alvéolos. Os testes foram divididos em dois segmentos distintos:

- A primeira secção avaliaria se diferentes pressões de enchimento poderiam ser afetadas com o aumento de altitude e diminuição da pressão atmosférica.
- A segunda secção permitiu avaliar se os diferentes diâmetros dos alvéolos, insuflados com a mesma pressão, suportariam o mesmo tipo de agressões quando sujeitos a variações de altitude e pressões.

Desse modo duas tabelas foram desenvolvidas para a estruturação das amostras para os testes.

**Tabela 5** – Segmento de amostras 1 – Igual diâmetro, diferente pressão.

Amostra	Material	Espessura [μm]	Diâmetro de canal [mm]	Pressão de enchimento [bar]
1	Filme de PE+PA	100	40	0,34
2	Filme de PE+PA	100	40	0,7
3	Filme de PE+PA	100	40	1,38
4	Filme de PE+PA	100	40	3,45

**Tabela 6** – Segmento de amostras 2 – Diferente diâmetro, igual pressão

Amostra	Material	Espessura [um]	Diametro de canal [mm]	Pressão de enchimento [bar]
4	Filme de PE+PA	100	40	0,34
5	Filme de PE+PA	100	40	0,70
6	Filme de PE+PA	100	40	1,38
7	Filme de PE+PA	100	40	3,45

## Equipamento utilizado

De forma a realizar os testes com as pressões pretendidas foi necessário utilizar uma máquina de vácuo, para reduzir os valores abaixo da pressão atmosférica. Em parceria com o INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Industrial, foi viável a utilização do aparelho para a realização dos testes.

O método de funcionamento da máquina obrigava a uma constante pressurização de ar, devido a não ser possível manter a pressão constante durante todo o teste. Por isso existiram algumas variações de pressão durante o teste, mas foram consideradas irrelevantes, porque em média a pressão a que se pretendia testar era obtida.



**Figura 41** – Máquina de Vácuo no INEGI.

### ***Preparação e parâmetros do teste***

Para a realização dos seguintes testes, foi necessário proceder à preparação das amostras descritas anteriormente e à definição dos parâmetros a considerar, para a validação correta das altitudes pretendidas.

Relativamente à preparação das amostras.

- Estas foram preparadas e cortadas previamente e condicionadas à temperatura ambiente.
- As dimensões selecionadas estão de acordo com a norma ASTM D6653 [54], tendo para este teste um comprimento máximo de 600 mm.
- As larguras das amostras são diferentes em cada teste.
- As pressões de enchimento das amostras foram selecionadas como é possível verificar nas tabelas 4 e 5, consoante os valores pretendidos estudar.

Os parâmetros selecionados para a realização dos testes foram obtidos a partir da norma ASTM D6653 (54) e considerando os meios de transporte que o material poderia estar sujeito.

- Para os testes, referentes ao camião ou transporte terrestre, foi definido uma altura máxima de 3658 metros o que corresponde a uma pressão inferior à atmosférica de 0,64 bar.
- Para os aviões pressurizados a altura definida é de 2438 metros o que corresponde a 0,75 bar de pressão inferior à atmosférica.
- Os aviões não pressurizados podem atingir alturas de 4877 metros, correspondendo a uma pressão inferior à atmosférica de 0,55 bar.
- O tempo e a velocidade de pressurização e despressurização não foram possíveis controlar, devido à máquina utilizada não possuir nenhum controlador deste parâmetro. Sendo que, os valores considerados foram os permitidos pela máquina de vácuo.
- Os testes selecionados e tendo em consideração a norma utilizada, foram realizados por um período mínimo de 60 minutos.

Em suma, foram realizados um total de 6 testes que podem ser revistos na tabela 6.

**Tabela 7** – Número de Testes realizados.

Teste	Tempo [min]	Pressões de teste [Bar]	Segmento de Amostras
1	60	0,75	1
2	60	0,64	
3	60	0,55	
4	60	0,75	2
5	60	0,64	
6	60	0,55	

Numa fase final dos testes, achou-se necessário determinar a máxima altitude ou diferença de pressão, garantindo que durante os testes iniciais não haveria identificação de problemas. Houve uma proposta de um conjunto de testes finais, com as seguintes especificações:

- Determinar a máxima altitude que o material pode estar sujeito;
- Diminuir a pressão abaixo da atmosférica até atingir a deformação e registar os dados. Não existiu a possibilidade de verificar a velocidade de variação das pressões.
- Os valores necessitaram de ser inferior aos propostos pela norma ASTM D6653 [54], normalmente utilizada.

Os testes finais estão descritos na seguinte tabela 7.

**Tabela 8** – Testes para determinação da altitude máxima.

Teste	Tempo [min]	Pressões de teste [Bar]	Segmento de Amostras
7	60	0,45	1
8	60	0,35	
9	60	0,45	2
10	60	0,35	

## ***Metodologia***

Ao ser concluída a fase de estruturação dos testes, foi adotada uma metodologia para a sua realização, de forma a garantir uma diminuição de erros. Neste momento, será descrito qual o processo utilizado para a realização dos testes, onde o único parâmetro a ser alterado será a pressão a estudar. Em futuros testes os mesmos devem ser idênticos ou o mais próximo dos descritos.

- Numa primeira fase, foi feita a preparação das amostras. Estas foram cortadas às dimensões previamente definidas e insufladas às pressões de enchimento, conforme pode ser revisto nas tabelas.
- O teste obrigou a um condicionamento de todas as amostras, para isso estas foram colocadas à temperatura ambiente durante um período mínimo de 24h.
- As amostras foram colocadas no interior da câmara de vácuo, nos diferentes segmentos, garantindo uma igualdade nas agressões impostas.
- Após a colocação das amostras, a câmara de vácuo foi fechada e selecionada a pressão a estudar. Os testes realizados tiveram um tempo mínimo de 60 minutos.
- Ao terminar o teste, procedeu-se à abertura da câmara e análise das amostras, registando todos os acontecimentos importantes e o seu estado. Os valores e dados devem ser todos registados para posterior análise, se possível, a obtenção de fotografias é importante.

### 3.3.4 Testes de Temperatura

O modo de funcionamento de uma empresa promove o constante contacto entre todas as partes intervenientes e obriga a que, durante as fases de desenvolvimento, exista um constante transporte de material de um local para outro. Conforme analisado na revisão de literatura, existem centros de produção e de armazenamento ao longo do mundo, para isso é importante analisar quais as agressões ambientais que o produto pode sofrer.

Como meio de verificar essas agressões e no final retirar conclusões, identificaram-se alguns pontos relevantes:

- Quais as temperaturas e humidades máximas que o material pode suportar.
- Quais os impactos que a temperatura e humidade relativa provocam no material?
- Quais os extremos de temperatura e humidade existentes no ambiente?
- Sendo que o material estará sujeito as agressões em modo simultâneo, qual o melhor método para avaliar e replicar as agressões sentidas no meio ambiente.
- Ao verificar que o material pode estar em armazém antes de ser utilizado, qual o período mínimo a considerar para análise?
- Qual o tempo mínimo que devemos considerar após o produto estar embalado e sujeito as agressões?

Com as questões propostas e análise dos diferentes locais, foi possível desenvolver uma tabela onde os valores das temperaturas, humidades e pressões foram colocados.

**Tabela 9** – Valores máximos e mínimos dos parâmetros por local.

Local	Temperatura [°C]		Humidade Relativa [%]		Pressão Atmosferica [atm]	
	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
Portugal - Ovar	0	35	50%	100%	0,98	1,02
China - Zhuhai	10	45	10%	80%	0,99	1,00
México - Hermosillo	10	35	60%	100%	0,98	1,02
Alemanha - Straubing	-10	30	50%	100%	0,99	1,03
USA - Lincoln	-5	30	60%	100%	0,98	1,02
Holanda - Tilburg	-5	30	40%	100%	0,98	1,03
USA - Greer	-5	40	20%	96%	0,98	1,02
Singapore	24	34	60%	95%	0,99	1,00

### Parâmetros dos testes

A pesquisa realizada, possibilitou a fácil estruturação dos testes a realizar e quais os valores importantes a considerar. Serão realizados na máquina de ciclo térmico, existente na empresa, uma vez que os limites dos parâmetros, permitem atingir os valores pretendidos.

Com os dois conjuntos de locais definidos anteriormente e aos parâmetros apresentados, foram criados um total de 5 testes divididos em 3 séries distintas, apresentadas nos pontos seguintes.

- Série 1 - Foi estudado o material quando este se encontra nos locais de produção. Para isso, os valores considerados foram os máximos e mínimos nesses locais e realizados por um período de 72 horas, de modo a estabilizar o ambiente e provocar um envelhecimento ao material.

**Tabela 10** – Apresentação dos testes a realizar para a série 1.

Centros de Produção		
	Teste 1	Teste 2
Temperatura [°C]	45	-15
Humidade Relativa [%]	98	10
Tempo [horas]	72	72

- Série 2 – Nesta série pretendemos estudar o material quando o mesmo se encontra nos locais de armazenamento. Foram então ponderados os valores das temperaturas e humidades relativas, máximas e mínimas, sendo que o teste iria ser realizado por um período de 72 horas.

**Tabela 11** – Apresentação dos testes a realizar para a série 2.

Centros de Distribuição		
	Teste 3	Teste 4
Temperatura [°C]	35	-10
Humidade Relativa [%]	98	20
Tempo [horas]	72	72

- Série 3 – Considerando que por vezes o material pode estar sujeito a longos períodos de tempo nestes centros de distribuição, foi constatada a necessidade de realizar um teste com uma maior duração. Com isto nesta série, composta por um único teste, o mesmo será realizado por um período de 100 horas, sendo este o período máximo para utilização dos equipamentos da fábrica..

**Tabela 12** – Valores máximos e mínimos dos parâmetros.

Centros de Produção/Distribuição	
	Teste 5
Temperatura [°C]	20
Humidade Relativa [%]	70
Tempo [horas]	100

## ***Amostras***

Para a seleção das amostras, foi levado em consideração os diferentes locais onde o material se encontra, devido a existir alguma variação do estado do material quando armazenado nos diferentes centros.

Nos centros de produção haverá uma maior predominância de o material se encontrar em vazio, sendo por isso selecionadas para esta série, conjuntos de amostras nesse estado. Nos centros de distribuição, local este que serve como meio de armazenamento do material antes do mesmo ser enviado para o cliente, as amostras selecionadas possuem um estado diferente, neste caso após enchimento, como explicado anteriormente.

O último teste pretende avaliar o produto durante um período de tempo superior, obrigando-o a sofrer agressões ambientais mais prolongadas. Para isso, as amostras selecionadas encontram-se nos dois possíveis estados de funcionamento, em vazio e após enchimento.

As amostras escolhidas não obrigavam a uma especificação das dimensões, pelo que a sua escolha se baseou na variedade de diâmetros e dimensões.

As figuras seguintes permitem uma compreensão das amostras usadas e podem servir como referência para futuros testes a realizar.



**Figura 42** – Exemplos de amostras em vazio e após enchimento.

## ***Metodologia***

Para a realização dos testes e levando em consideração os parâmetros definidos anteriormente, como amostras e séries de testes, foi redigido uma metodologia para a sua concretização. Na última série, haverá uma pequena diferença no tempo de duração dos testes.

Os seguintes pontos servem como uma possível representação dos testes a realizar.

- Seleção dos parâmetros a estudar, como temperatura, humidade relativa e tempo de duração.
- Preparação das amostras a estudar, havendo uma variação das amostras para cada série de testes.
- Deverá existir um período de pré condicionamento de pelo menos 24h antes dos testes de modo a que exista uma igualdade nas amostras analisadas.
- Após a fase inicial de preparação, as amostras devem ser colocadas no interior da máquina de testes e selecionados os parâmetros para o respetivo teste.
- Finalizando toda a seleção, podemos dar início à realização do teste.

- Concluído o teste, as amostras deverão ser retiradas do interior da máquina e realizado a respetiva avaliação, registando todos os dados relevantes para futura análise.
- Todo o trajeto realizado durante o teste deverá possuir um registo fotográfico para mais fácil análise e comparação de resultados no futuro.

### ***3.3.5 Testes de Compressão***

Será realizado um conjunto de testes que nos permitiram entender como será o comportamento do material quando sujeito a um esforço estático de compressão. Podemos caracterizar este esforço como o peso que um produto embalado, provocará no material. Para isso, foram realizados testes de compressão que pretendem simular esse comportamento, delineando alguns pontos importantes a analisar no final.

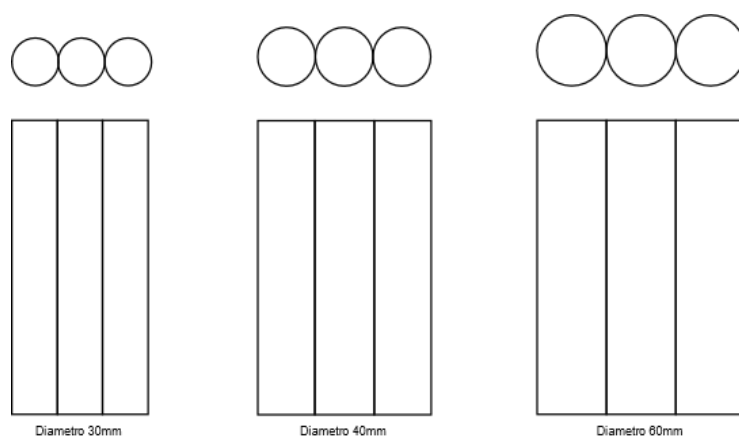
- Quais as pressões estáticas máximas que o material consegue suportar. Devem ser considerados os valores finais ou uma percentagem do valor de deformação?
- Qual a influência dos diâmetros dos alvéolos na capacidade de suportar um maior ou menor número de cargas.
- Qual a influência da pressão de enchimento na capacidade de suportar cargas?
- Compreender qual a influência da direção dos alvéolos de enchimento e como podemos descrever o comportamento.
- Avaliar os gráficos de força/deslocamento e tentar compreender as relações entre as diferentes pressões, volumes e áreas de pressão.

### ***Amostras***

A fase inicial do processo dos testes de compressão passou pela seleção das amostras a estudar e quais os parâmetros que iriam influenciar essa escolha. Para isso foi feita a recolha de um conjunto de amostras, onde existiu uma variação no diâmetro dos alvéolos de enchimento e nas pressões às quais os mesmos eram insuflados.

As respetivas dimensões das amostras foram mantidas com o mesmo comprimento, já que ao nível da largura as dimensões poderiam variar consoante o aumento dos diâmetros escolhidos, mantendo sempre conjuntos de três alvéolos. A imagem seguinte pretende esquematizar a situação descrita anteriormente.





**Figura 43** – Esquema da variação da dimensões das amostras consoante diâmetro dos alvéolos. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

A tabela 12 permite uma visualização geral do total das amostras utilizadas para o teste, com as respetivas dimensões após enchimentos dos alvéolos, e a figura 44 uma representação visual das amostras utilizadas.

**Tabela 13** – Quantidade de amostras seleccionadas para os testes de compressão.

Amostras	Pressão de Enchimento [bar]	Diâmetro [mm]	Dimensões		
			Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]
1	0,5	30	235	60	17,00
2	0,5	40	220	50	23,50
3	0,5	50	235	65	29,71
4	0,5	60	230	80	35,75
5	1	30	235	60	17,65
6	1	40	220	50	24,53
7	1	50	220	65	31,60
8	1	60	225	80	40,76
9	1,5	30	235	60	17,81
10	1,5	40	230	50	24,30
11	1,5	50	225	65	30,95
12	1,5	60	230	80	36,64

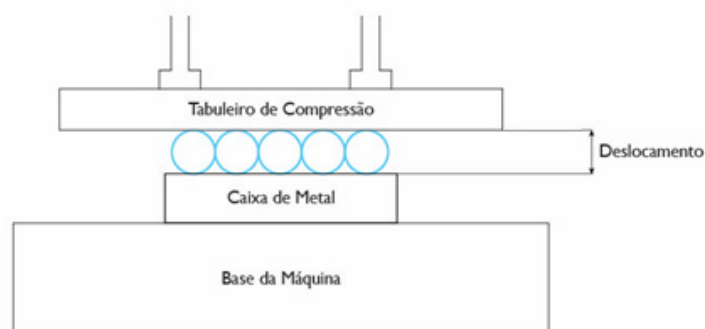
### ***Parâmetros dos testes***

Uma parte importante para o estudo e que permita possíveis futuras repetições, foi a seleção de alguns parâmetros necessários para validar a análise.

Os testes foram realizados na empresa e com a máquina de compressão TLS Box Crush Tester com uma força máxima de compressão de 30kN. As velocidades executadas para os testes foram as seguintes:

- Antes do teste – 0,00166 m/s
- Durante o teste – 0,000216 m/s
- Após o teste – 0,00166 m/s

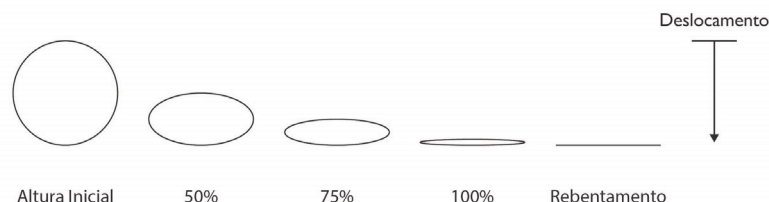
Devido ao protocolo de segurança da máquina de compressão, esta efetua o deslocamento, durante o teste, até uma altura de 100 mm. Desse modo, garantindo os deslocamentos pretendidos, foi colocado uma caixa de metal na base da máquina aumentando assim a altura a que as amostras iam ser colocadas, conforme visualizado na figura 45.



**Figura 44** – Ilustração das amostras na máquina de compressão. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Através da tabela 12 é possível observar as alturas que os alvéolos possuem após o enchimento, sendo esta a dimensão a estudar e na qual a máquina realizará o deslocamento. Foi desenvolvido um esquema, figura 46, para uma mais fácil visualização de todos limites definidos para os testes. Existe, no entanto, uma variação na metodologia para o limite de 100%, no qual será aplicada a carga e a libertada após atingida a dimensão, e no rebentamento onde a carga continua aplicada durante um período de tempo.

Para que existisse uma grande amplitude e variedade de dados a analisar foram selecionados 4 testes para cada amostra, descritos na tabela 13. Serão realizados um total de 48 testes, variando assim os deslocamentos verticais que o tabuleiro de compressão irá realizar. Podemos constatar, que os valores dos deslocamentos, correspondem às percentagens das alturas iniciais dos alvéolos.



**Figura 45** – Ilustração dos diferentes pontos finais dos testes. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

**Tabela 14** – Caracterização dos deslocamentos testes de compressão.

Amostra	Deslocamentos dos testes de Compressão [mm]			
	50%	75%	100%	Diâmetro dos alvéolos [mm]
1	8,5	12,8	17,0	30
2	11,8	17,6	23,5	40
3	14,9	22,3	29,7	50
4	17,9	26,8	35,8	60
5	8,8	13,2	17,7	30
6	12,3	18,4	24,5	40
7	15,8	23,7	31,6	50
8	20,4	30,6	40,8	60
9	8,9	13,4	17,8	30
10	12,2	18,2	24,3	40
11	15,5	23,2	31,0	50
12	18,3	27,5	36,6	60

### ***Metodologia***

Idealmente existe uma necessidade de garantir através de parâmetros anteriormente definidos, uma correta repetição de todos os passos idealizados. Nesta fase do relatório iremos apresentar qual a metodologia usada.

- Preparar as amostras escolhidas separando pelos diferentes diâmetros. Cortar os comprimentos e larguras definidos.
- Separar as amostras por pressão de enchimento, obtendo 3 grupos de 4 diâmetros diferentes.
- Proceder ao enchimento das amostras, às pressões definidas e marcar cada amostra com as respetivas informações: Diâmetro do alvéolo, pressão de enchimento e se possível a espessura do material.
- Proceder à preparação da máquina de testes. Ligar a máquina e seleccionar os valores das velocidades escolhidos anteriormente.
- A força de compressão foi colocada no seu valor máximo para garantir que não existe paragem durante os testes. O deslocamento deverá ser seleccionado para cada teste específico.
- Nos testes realizados foi necessário colocar a caixa metálica na base da máquina de modo a garantir a altura, não sendo este um requisito necessário para os próximos estudos.
- Colocar, a amostra seleccionada, na parte superior da caixa e reduzir a distância entre o tabuleiro de compressão e a amostra até que exista contacto.
- Realizar o teste.
- Proceder a obtenção dos dados, da força por deslocamento e força por tempo de cada amostra, para posterior análise.
- Registar qualquer inconveniente ou acontecimento fora do normal durante a realização dos testes.

### 3.3.6 Testes de Impacto

Os conjuntos de testes realizados nesta fase pretendem simular o efeito de queda de um produto. Pretendemos estudar, conforme referido na revisão, quais as acelerações que conseguimos suportar com este novo material e se possível criar uma curva de amortecimento do mesmo.

- Qual o número mínimo de testes necessários a realizar para obter um correto resultado?
- Que efeito a espessura do material provoca nos resultados das acelerações?
- Quais os efeitos das pressões de enchimento nos resultados encontrados?
- Compreender se a variação dos diferentes diâmetros, mantendo as espessuras e pressões, tem alguma consequência nos dados obtidos.

Os pontos questionados, levantam uma quantidade enorme de variações de testes que devem ser realizados. No caso da análise que iremos realizar, foi escolhido um método simples nos quais o interesse encontrasse nas acelerações atingidas.

#### **Amostras**

As amostras selecionadas para os seguintes testes, tiveram em consideração as dimensões do equipamento que irá ser utilizado, apresentado anteriormente e desenvolvido especificamente para a realização dos testes em questão. As amostras escolhidas possuem variações nos diâmetros de enchimento, nas suas dimensões exteriores e pressão de enchimento, mantendo as espessuras. As diferentes dimensões gerais, oferecem uma maior amplitude de cargas estáticas, uma vez que mantendo o peso e variando as amostras esses valores variam.

Para o estudo foram escolhidas 3 pressões distintas, 0,5 bar, 1 bar e 1,5 bar, com o intuito de produzir e comparar mais curvas de amortecimento.

A tabela seguinte resume o número de amostras utilizadas.

**Tabela 15** – Caracterização da amostras utilizadas.

Quantidade de amostras	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Diâmetro [mm]
2	650	300	30
1			40
3			50
1			60
3	650	400	40
1			50
	650	500	30
2			40
2	650	600	50
2			60

### ***Parâmetros dos testes***

Ao finalizar a escolha das amostras, existiu a necessidade de escolher a quantidade de testes a realizar, as alturas de queda do tabuleiro de impacto e quais os pesos que iríamos colocar no tabuleiro.

O equipamento selecionado para este estudo, estará acoplado ao equipamento de queda, já existente na empresa, pelo que ficou assegurada a verificação e movimentação para as alturas pretendidas. As alturas definidas tiveram a intenção de obter os mais variados valores de acelerações, com isso foram escolhidas 8 alturas diferentes.

No caso dos pesos foram escolhidos 3 diferentes, tendo em consideração o material existente, na empresa, para provocar o aumento e diminuição. Esta variação permite uma maior amplitude de cargas estáticas no material a testar.

O sensor utilizado possui um intervalo de utilização de -200G até 200G, no qual conseguimos obter as desacelerações sentidas durante o impacto.

A tabela seguinte pretende resumir e ilustrar os parâmetros definidos, considerando que cada teste apresentado, necessita de 5 quedas às alturas definidas e os respetivos valores, para ser válido.

**Tabela 16** – Caracterização dos testes de impacto.

Numero de testes	Peso [kg]	Altura [mm]	Diametro [mm]
1	11	300	30
2			40
3		400	40
4			50
5		500	50
6			60
7	7	400	30
8			40
9		550	40
10			50
11		700	50
12			60
13	3,18	700	30
14			40
15		850	40
16			50
17		1000	50
18			60

## ***Metodologia***

A realização dos testes de impacto, requer que o colaborador esteja atento a alguns passos importantes durante a execução. Conforme referido nos pontos anteriores, para cada mudança de teste, composto por 5 quedas, serão variadas as alturas, as amostras e o peso do tabuleiro.

Será apresentada a metodologia de uma queda.

- Preparar as amostras selecionadas anteriormente, com as respetivas dimensões exteriores. Insuflar as amostras com uma das pressões selecionadas.
- Condicionar por um período de 24 h antes dos testes, de modo a conferir igualdade no ar no interior dos alvéolos.
- Preparar o equipamento de testes acoplando ao já existente na empresa. Verificar o peso pretendido.
- Selecionar a altura desejada, variando no sistema já existente.
- O sensor deve ser colocado numa superfície rígida do tabuleiro de impacto de modo a reduzir as vibrações. Ligar o computador e ativar o software correspondente.
- Colocar a amostra, selecionada para o teste, no local correto. Deve existir um alinhamento com o centro da chapa inferior, assegurando que impacto é realizado com o máximo de área possível.
- Realizar a queda, pressionando o pedal de libertação do equipamento.
- Registar o valor da aceleração sentida e se possível o gráfico do impacto. Estes parâmetros serão utilizados para futuras avaliações.

## Resultados e Discussão

Finalizando a preparação e realização dos testes propostos anteriormente, cabe agora ao 'designer/engenheiro' compreender e analisar os valores obtidos em cada teste. Juntamente com a revisão realizada, é necessário comparar também os resultados com outros estudos feitos.

Nesta parte iremos rever e apresentar os resultados encontrados, separando pelos mesmos conjuntos de testes definidos e executados anteriormente.

Numa fase inicial serão descritos os resultados encontrados, de forma a facilitar a possível compreensão dos mesmos e relações que possam existir. A análise será feita a partir de tabelas ou gráficos, ilustrando da melhor forma os valores atingidos.

Posteriormente ao estudo, será feita uma discussão sobre se os mesmos refletem algo novo e positivo para a indústria das embalagens. As reflexões realizadas, tentam da melhor forma atingir os standards da empresa, para que o material em estudo possa ser considerado apto para realizar o trabalho. Durante a discussão sobre os testes realizados, é feita uma comparação com os materiais usualmente utilizados e perceber quais as vantagens e desvantagens do uso do novo material Air Pack.

### 4.1 Estudo da variação das dimensões gerais

#### 4.1.1 Dimensões após enchimento

Nesta fase iremos apresentar quais as diferenças que existiram após o enchimento das amostras. Na tabela seguinte é possível observar que as amostras selecionadas sofreram um decréscimo na largura e um aumento na altura. O comprimento não teve qualquer alteração relevante.

**Tabela 17** – Resultados após testes das variações das dimensões.

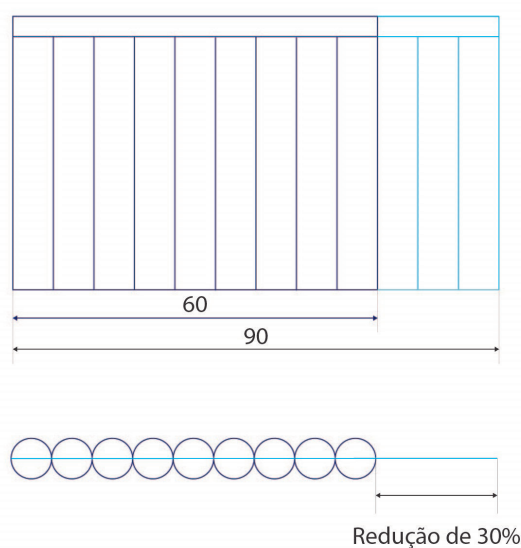
Amostras	Dimensões					
	Vazio			Insuflado		
	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]
1	235	90	0,2	235	60	17,00
2	230	80	0,2	220	50	23,50
3	235	100	0,2	235	65	29,71
4	230	120	0,2	230	80	35,75
5	240	90	0,2	235	60	17,65
6	230	80	0,2	220	50	24,53
7	225	100	0,2	220	65	31,60
8	230	120	0,2	225	80	40,76
9	235	90	0,2	235	60	17,81
10	230	80	0,2	230	50	24,30
11	225	100	0,2	225	65	30,95
12	230	120	0,2	230	80	36,64

### 4.1.2 Percentagem de redução

Um dos pontos a considerar, através das dimensões registadas anteriormente na tabela 16, será qual o nível de percentagem reduzido ao nível da largura e qual o aumento ao nível da altura. Deste modo pretendemos obter uma noção de quais os impactos que o ar provoca nas camaras de enchimento. A tabela seguinte apresenta as diferenças entre as dimensões estudadas como também as reduções e aumentos das dimensões a nível percentual.

**Tabela 18** – Resultados relativos às percentagens de redução.

Amostras	Diferença			% Redução		% Aumento
	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]
1	0	30	16,8	0%	33%	8400%
2	10	30	23,3	4%	38%	11650%
3	0	35	29,51	0%	35%	14755%
4	0	40	35,55	0%	33%	17775%
5	5	30	17,45	2%	33%	8725%
6	10	30	24,33	4%	38%	12165%
7	5	35	31,4	2%	35%	15700%
8	5	40	40,56	2%	33%	20280%
9	0	30	17,61	0%	33%	8805%
10	0	30	24,1	0%	38%	12050%
11	0	35	30,75	0%	35%	15375%
12	0	40	36,44	0%	33%	18220%



**Figura 46** – Caracterização das dimensões antes e após enchimento. (Fonte: Elaborado pelo Autor)



### 4.1.3 Influência do enchimento na escolha das dimensões

Para que seja correto o pedido de dimensões ao fornecedor e não exista uma constante necessidade de verificações, foi realizado uma análise do comportamento dos diâmetros dos alvéolos, antes e depois de insuflação. Na tabela 18 estão descritos, quais os diâmetros finais em comparação com os fornecidos. Podemos igualmente compreender a pressão à qual é feito o enchimento, e comparando os diâmetros, não provoca no material nenhuma variação significativa nas dimensões.

**Tabela 19** – Comparação entre dados do fornecedor e final.

Amostras	Pressão de Enchimento [bar]	Diâmetro dos Alvéolos [mm]	Diâmetro após enchimento [mm]	Redução Percentual [%]
1	0,5	30	17	43%
2	0,5	40	24	41%
3	0,5	50	30	41%
4	0,5	60	36	40%
5	1	30	18	41%
6	1	40	25	39%
7	1	50	32	37%
8	1	60	41	32%
9	1,5	30	18	41%
10	1,5	40	24	39%
11	1,5	50	31	38%
12	1,5	60	37	39%

## 4.2 Testes de Vácuo

Terminando os testes de vácuo, algumas avaliações foram realizadas de acordo com os resultados obtidos. O ponto de partida para a discussão, será verificar se os efeitos ocorridos foram de encontro ao que era esperado.

- A partir da tabela 19, é possível verificar que, às pressões que o material estará sujeito durante o transporte, nenhum dano existirá no mesmo.
- As 3 diferentes pressões testadas (0,75 bar, 0,64 bar e 0,55 bar) não provocam no material nenhuma deformação.
- O tempo de duração dos testes foi de 60 minutos, o que permitiu estabilizar a pressão no interior dos alvéolos.

**Tabela 20** – Resultados dos testes iniciais.

Teste	Segmento	Amostra	Resultado
1	1	Ø30/1,03bar	Sem deformação
		Ø40/1,03bar	Sem deformação
		Ø50/1,03bar	Sem deformação
		Ø60/1,03bar	Sem deformação
2	1	Ø30/1,03bar	Sem deformação
		Ø40/1,03bar	Sem deformação
		Ø50/1,03bar	Sem deformação
		Ø60/1,03bar	Sem deformação
3	1	Ø30/1,03bar	Sem deformação
		Ø40/1,03bar	Sem deformação
		Ø50/1,03bar	Sem deformação
		Ø60/1,03bar	Sem deformação
Teste	Segmento	Amostra	Resultado
4	2	Ø40/0,34bar	Sem deformação
		Ø40/0,70bar	Sem deformação
		Ø40/1,38bar	Sem deformação
		Ø40/3,45bar	Sem deformação
5	2	Ø40/0,34bar	Sem deformação
		Ø40/0,70bar	Sem deformação
		Ø40/1,38bar	Sem deformação
		Ø40/3,45bar	Sem deformação
6	2	Ø40/0,34bar	Sem deformação
		Ø40/0,70bar	Sem deformação
		Ø40/1,38bar	Sem deformação
		Ø40/3,45bar	Sem deformação

Na segunda fase dos testes, após verificado anteriormente que nenhuma deformação existia durante o normal transporte do material, a tabela 20 revela os resultados obtidos na determinação da altitude máxima que o material pode suportar.

- No teste 7 é possível verificar, com uma pressão de 3,45 bar no interior dos alvéolos e com o decréscimo de pressão, da câmara de testes, de 0,45 bar, o começo de algumas deformações. Não existe um impedimento do seu funcionamento, mas começam a formar-se pontos frágeis na superfície do produto.
- No teste 8, onde foi utilizado o segmento 1 de amostras, conseguimos já identificar a deformação total do produto com pressão no interior dos alvéolos de 3,45 bar.
- No teste 9, onde todas as amostras foram insufladas com a mesma pressão, não existiu nenhuma deformação, mesmo com a variação do diâmetro dos alvéolos.
- No teste 10 podemos verificar que a amostra com 60 milímetros de diâmetro rebentou.

**Tabela 21** – Resultados dos testes finais.

Teste	Segmento	Amostra	Resultado
7	1	Ø30/1,03bar	Sem deformação
		Ø40/1,03bar	Sem deformação
		Ø50/1,03bar	Sem deformação
		Ø60/1,03bar	Deformações
8	1	Ø30/1,03bar	Sem deformação
		Ø40/1,03bar	Sem deformação
		Ø50/1,03bar	Sem deformação
		Ø60/1,03bar	Rebentou
Teste	Segmento	Amostra	Resultado
9	2	Ø40/0,34bar	Sem deformação
		Ø40/0,70bar	Sem deformação
		Ø40/1,38bar	Sem deformação
		Ø40/3,45bar	Sem deformação
10	2	Ø40/0,34bar	Sem deformação
		Ø40/0,70bar	Sem deformação
		Ø40/1,38bar	Sem deformação
		Ø40/3,45bar	Rebentou

Na figura 48 podemos perceber o estado do material após o teste no qual existiu rebentamento, verificando que este acontecimento, com os parâmetros impostos, pode danificar e impossibilitar que o material realize o trabalho para o qual foi destinado. Pode existir uma falha no amortecimento de choques do produto a ser transportado.



**Figura 47** – Exemplo do estado da amostra após o teste de vácuo 10.

## 4.3 Testes de Temperatura

### 4.3.1 Resultados da Série 1

Nesta série, as amostras estudadas encontravam-se no estado vazio, pelo que não foi verificado o comportamento do ar no interior dos alvéolos. No entanto, existiu uma análise ao comportamento do filme plástico.

#### *Teste 1*

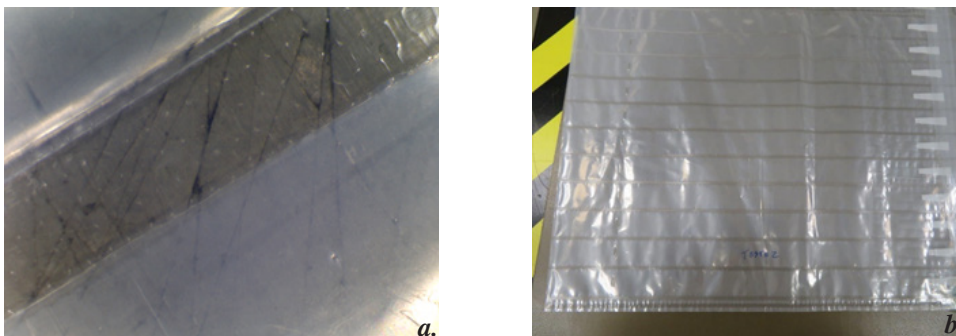
Devido à existência de uma humidade relativa elevada de 98%, ocorreram algumas condensações nos alvéolos, como pode ser visto na figura 49. As zonas de soldadura do material possuem também alguns pontos de condensação conforme pode ser visto na figura 49. Visto estes serem pontos frágeis quisemos explorar ao pormenor, por isso um análise microscópica foi igualmente realizada e o resultado ilustrado na figura 49.



**Figura 48** – Resultados do teste 1 da série 1. Condensação nas soldaduras nos alvéolos (a;b.). Imagem microscópica da zona de soldadura (c.).

## **Teste 2**

As temperaturas foram reduzidas, pelo que a intenção seria estudar o material em ambientes frios. Os resultados encontrados foram melhores do que no teste anterior, não havendo nenhuma condensação no material e nas zonas de soldadura, pontos críticos para o possível enchimento. As figuras seguintes mostram os resultados encontrados.



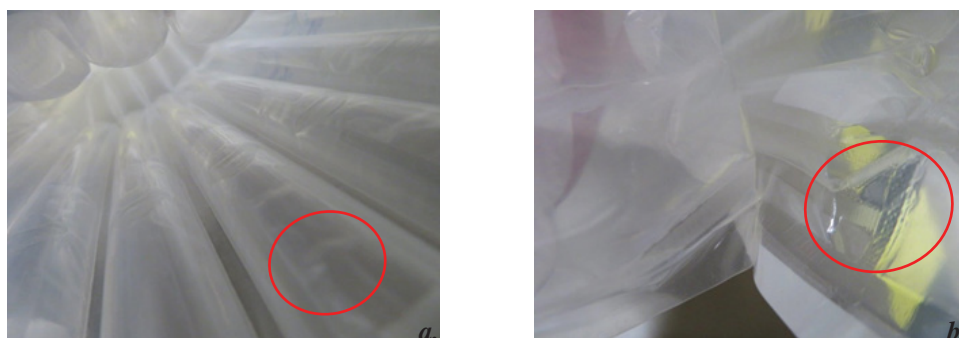
**Figura 49** – Resultados do teste 2 da série 1. Imagem microscópica da zona de soldadura (a.). Amostra do material após teste (b.).

### **4.3.2 Resultados da Série 2**

Nesta série composta por dois testes, as amostras analisadas encontravam-se no estado após enchimento, pelo que existia ar no interior dos alvéolos. Com isto, os resultados obtidos tiveram em consideração o filme plástico e o seu comportamento, mas também como o ar poderia afetar o filme.

## **Teste 3**

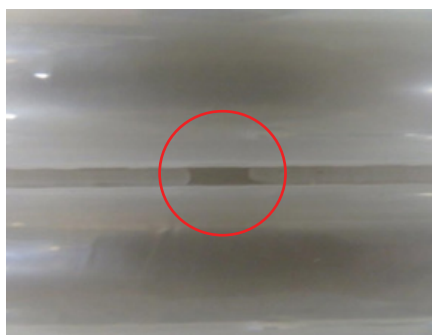
Considerando que neste teste a humidade relativa e temperatura foram elevadas, existiram alguns danos no material, mas nada que impossibilitasse a sua utilização. O ar, no interior dos alvéolos, não demonstrou qualquer mudança de pressão, mas ocorreram alguns pontos de condensação. No filme plástico, surgiram algumas elevações na parte da válvula devido a uma maior numero de soldaduras, mas mesmo assim não afeta a utilização do material. As figuras seguintes exibem alguns dos pontos verificados.



**Figura 50** – Resultados do teste 3 da série 2. Saliências na zona de soldadura das válvulas (a.). Condensação no canal de insuflação (b.).

### **Teste 4**

O seguinte teste teve como intenção variar a temperatura até negativos tentando verificar qual seria o comportamento do ar. Anteriormente os resultados para o filme a temperaturas negativas foram positivos, desse modo foi realizada uma verificação, avaliação e comparação dos resultados. O ar no interior não apresentou qualquer variação e o material poderia continuar a efetuar o seu trabalho após sujeito às variações. O filme manteve o estado sem nenhuma deformação, existindo apenas alguns pontos mais frágeis nas soldaduras.



**Figura 51** – Resultados do teste 4 da série 2. Pontos frágeis no canal de soldadura.

### **4.3.3 Resultados da Série 3**

Na fase final da série, composta por um único teste, as amostras utilizadas encontravam-se nos dois estados, vazio e após enchimento.

### **Teste 5**

Como o teste teve uma duração superior aos anteriores, existiram preparações para realizar algumas verificações às junções de soldadura, ao comportamento do ar no interior dos alvéolos e se existiam variações de pressão.

Nas amostras em vazio existiram alguns pontos com condensação, mas todas as amostras estavam em condições para utilização. Analisando as amostras após enchimento, o ar no interior não provocou nenhuma deformação no filme, no entanto apareceu alguma condensação nos alvéolos de enchimento. As soldaduras ficaram pronunciadas na zona das válvulas, mas como nos testes anteriores, não mostraram sinais de impossibilitar a correta utilização do material.



**Figura 52** – Resultados do teste 5 da série 3. Condensação nos canais de enchimento (a.). Zonas de soldadura mais pronunciadas (b.).

## 4.4 Testes de Compressão

Ao serem finalizados os ensaios às 48 amostras e registados todos os valores pretendidos, foi necessário proceder à realização da sua avaliação. Os testes permitiram obter uma grande quantidade de resultados, dessa forma são apresentadas algumas análises feitas aos valores recolhidos e possíveis interpretações, como também os valores após o término dos ensaios.

Inicialmente vamos apresentar quais os valores registados pela máquina de compressão. Na tabela 21, podemos observar os atingidos pela força de compressão no momento de deslocamento máximo por parte do tabuleiro. No entanto, existem alguns valores que não estão registados, devido a algumas amostras terem rebentado no teste anterior.

**Tabela 22** – Caracterização da força dos testes de compressão.

Amostras	Força Máxima [N]			
	50%	75%	100%	Rebentamento
1	234,5	743,5	3017,5	30236,5
2	284,5	912,0	4156,5	16354,5
3	584,5	1860,0	5861,5	-
4	489,0	1695,0	6359,5	8653,0
5	617,0	1597,0	4582,0	30077,5
6	1076,5	3167,5	10278,5	30282,0
7	777,0	2510,5	8648,5	-
8	770,0	2807,5	9608,5	-
9	331,5	986,5	2756,0	30093,0
10	599,0	1675,5	5053,5	30032,0
11	743,5	2060,0	6563,0	30011,0
12	742,0	2015,5	5624,5	7495,5

Através da equação apresentada inicialmente, que relaciona o volume e a pressão de enchimento inicial, foi possível calcular qual seria a pressão final no interior dos alvéolos. Foi conseguido obter estes valores através do deslocamento, que provocou uma diminuição do volume e por isso um aumento de pressão. Para este estudo a temperatura foi considerada constante. Na tabela 22, os valores das pressões representados são o mais próximo da realidade, existindo mesmo assim uma variação grande das pressões no interior dos alvéolos. Nos segmentos de 100% e rebentamento, a pressão no interior aumentou acima de valores considerados credíveis, dessa forma foi decidido não os apresentar.

**Tabela 23** – Caracterização da pressão dos testes de compressão.

Amostra	Pressão [bar]	Pressão no Interior [bar]	
		50%	75%
1	0,5	2,00	8,31
2	0,5	2,02	7,99
3	0,5	2,01	8,04
4	0,5	2,01	8,00
5	1,0	3,99	15,95
6	1,0	4,03	16,07
7	1,0	4,02	16,08
8	1,0	4,02	16,16
9	1,5	6,02	24,80
10	1,5	6,05	24,04
11	1,5	6,03	23,92
12	1,5	5,99	24,26

Na tabela anterior é possível compreender quais os valores máximos das pressões atingidas durante os testes. Para compreendermos como essa variação decorre para cada grupo de pressões de enchimento e também os diferentes diâmetros, foi desenvolvido um gráfico de linhas no qual estes valores são comparados. É possível constatar que existe um aumento de pressão com o aumento do deslocamento e diminuição do volume do alvéolos.

Um último resultado possível de obter a partir dos testes de compressão, será a capacidade do o material absorver cargas estáticas. Neste ponto tentamos compreender qual a de força que pode ser imposta no material por unidade de área. Na tabela seguinte conseguimos visualizar os valores obtidos, novamente apresentado para os deslocamentos de 50% e 75%.

**Tabela 24** – Valores dos esforços estáticos.

Amostras	Pressão [bar]	Área [m^2]	Esforço Estático [MPa]	
			50%	75%
1	0,5	0,0141	0,02	0,05
2	0,5	0,011	0,03	0,08
3	0,5	0,0153	0,04	0,12
4	0,5	0,0184	0,03	0,09
5	1	0,0141	0,04	0,11
6	1	0,011	0,1	0,29
7	1	0,0143	0,05	0,18
8	1	0,018	0,04	0,16
9	1,5	0,0141	0,02	0,07
10	1,5	0,0115	0,05	0,15
11	1,5	0,0146	0,05	0,14
12	1,5	0,0184	0,04	0,11

## 4.5 Testes de Impacto

Numa fase posterior à realização dos testes descritos na metodologia, das amostras selecionadas e dos parâmetros definidos, tentamos compreender os resultados obtidos e que relações podem ser obtidas.

Devido à severidade dos testes realizados e de, a cada impacto existir uma aceleração elevada no sensor utilizado, existiu uma falha no cabo de ligação do mesmo com o computador. Com isto os resultados apresentados são reduzidos, pelo que não foram atingidos os pontos propostos inicialmente.

Na tabela seguinte é possível observar a quantidade de resultados obtidos e os valores das acelerações registadas pelo sensor.

**Tabela 25** – Valores das acelerações obtidas nos teste de impacto.

Nº de Queda	Massa [Kg]	Espessura Alvéolos [mm]	Altura de queda [mm]	Área Amostra [mm <sup>2</sup> ]	G [g's]
1	3,18	36	1000	195000	52,99
2	3,18	36	1000	195000	52,66
3	3,18	36	1000	195000	54,38
4	3,18	36	1000	195000	58,12
5	3,18	36	1000	195000	46,7
6	3,18	30	1000	260000	106,85
7	3,18	30	1000	260000	93,29
8	3,18	30	1000	260000	90,83
9	3,18	30	1000	260000	90,4
10	3,18	30	1000	260000	92,64
11	3,18	30	850	260000	64,66

Mesmo não existindo a possibilidade da obtenção das corretas curvas de amortecimento do material, foram calculados os valores definidos pelo “Stress-Energy Method” de modo a verificar se o método é viável para este material. Os valores da energia e esforço dinâmicos foram calculados e dispostos em gráficos de pontos com a respetiva linha de tendência. A tabela seguinte serve como representação do desenvolvimento realizado.



**Tabela 26** – Valores dos esforços dos testes de impacto.

Nº de Queda	Esforço Estática [N/mm <sup>2</sup> ]	Energia Dinâmica [J]	Esforço Dinâmico [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,000159978	0,004443846	0,008477115
2	0,000159978	0,004443846	0,008424434
3	0,000159978	0,004443846	0,008700365
4	0,000159978	0,004443846	0,009297388
5	0,000159978	0,004443846	0,007471218
6	0,000119984	0,003999462	0,012820274
7	0,000119984	0,003999462	0,011192897
8	0,000119984	0,003999462	0,010897533
9	0,000119984	0,003999462	0,010846732
10	0,000119984	0,003999462	0,011115759
11	0,000119984	0,003399542	0,007757556

## 4.6 Resumo final

Os resultados apresentados neste capítulo, permitiram uma breve caracterização do material especificamente desenvolvida para a indústria das embalagens. A percepção da variação do volume dos alvéolos foi compreendida, definindo parâmetros a considerar quando são dimensionadas as soluções. O material estudado pode atingir uma altitude superior ao necessário, normalmente utilizado nos transportes da empresa. A capacidade de suportar os ataques ambientais definidos foi apurada, dessa forma, é possível armazenar e transportar o material nos centros produtivos e de armazenamento da empresa. Existiu compreensão da pressão no interior dos alvéolos através dos testes de compressão.

Finalizando a análise dos resultados apresentados neste capítulo, existiu uma necessidade de melhoria, bem como a conclusão, de alguns testes realizados. Os testes de compressão permitem a aquisição de mais características importantes do material, pelo que posterior análise deve ser realizada. Com os testes de impacto, é possível entender as curvas de amortecimento do material e comparar com materiais já existentes, dessa forma devem ser finalizados.



## **Casos de Estudo**

Os conceitos para o desenvolvimento de embalagens de proteção, obrigam o ‘designer/engenheiro’ a um conhecimento abrangente do material com qual vai trabalhar. Para a empresa, existe a necessidade de estudar o material, conforme foi avaliado nos capítulos anteriores, para a sua possível utilização em produtos existentes.

Neste capítulo serão abordados os desenvolvimentos realizados para a empresa. Conforme foi explicado no capítulo I, maior foco do trabalho será no conceito criado para a Autodome 7000 ou GEN 5, visto ser um produto de dimensões superiores e com preço elevado, onde as especificações técnicas estão mais restritas.

No entanto e em parceria com o anterior, um novo desenvolvimento de embalagem de proteção foi proposto pela empresa. Neste caso, foi direcionada para uma família de produtos, as Dinion, de dimensões menores, mas mais centrado na Dinion 720p ou Hubble 1.



**Figura 53** – Dinion 720p. Autodome 7000. (Disponível em <[https://us.boschsecurity.com/en/products/videosystems/videosystems\\_4](https://us.boschsecurity.com/en/products/videosystems/videosystems_4)> Acesso em Jul. 2017.)

### **5.1 Hubble 1**

#### **5.1.1 Proposta**

Um pequeno projeto, que inicialmente seria substituir a embalagem existente do produto, passou para um desenvolvimento longo, onde foi levado o tempo necessário e tomados os passos corretos para uma nova solução.

O projeto do Hubble 1, quando proposto pela empresa, possuía uma ideia já existente e utilizada em alguns produtos das gamas altas, mas não muito estudada e desenvolvida. A proposta passou por permitir que o utilizador, ao comprar o produto e o fosse instalar, conseguisse realizar a pré-configuração da câmara sem obrigar à necessidade de remover o produto da caixa. Não foram impostas nenhuma restrições ao nível dos materiais, mas estando a caixa otimizada às paletes de

transporte, as suas dimensões exteriores teriam de ser mantidas. Um parâmetro importante para a empresa durante esta criação, foram os custos que uma nova embalagem poderia implicar, dessa forma o requisito de não aumentar o preço unitário em comparação com a embalagem existente foi tido em consideração. Ao nível técnico foi revisto que o produto poderia suportar no máximo uma desaceleração de 100 G's.

### **5.1.2 Revisão**

O estudo começou pela revisão da embalagem existente e de quais os materiais utilizados. Uma vez que a pré-configuração era a ideia mais importante, foram analisadas as razões pelas quais não era possível realizar esta ação com a embalagem existente.

O desenvolvimento realizado anteriormente considerou 5 partes distintas, onde os materiais utilizados são cartão e sacos de polietileno. De forma a facilitar a compreensão, foram analisados os 5 conjuntos e descritos nos pontos seguintes.

- A caixa utilizada anteriormente é uma FEFCO 0470, na qual a abertura é feita pela parte superior e fechada com um selo da empresa, não existindo por isso possibilidade de configuração prévia. O material utilizado é cartão canelado com um flute E.
- A câmara é colocada no interior de um saco de polietileno e fechado numa das partes com fita cola. A escolha deve-se principalmente ao custo reduzido do saco, mas não permite a configuração sem remover a fita-cola e possivelmente o seu dano.
- Para além da câmara, existem um conjunto de acessórios que tem de ser transportados em conjunto para a montagem. Estes são embalados num saco zip de polietileno. No desenvolvimento foi levado em consideração o posicionamento dos acessórios na caixa de transporte.
- Garantindo que a câmara não se deslocaria solta no interior da caixa, foi desenvolvido pela empresa um inserto de cartão canelado, de flute E. Os principais intuitos do mesmo são a segurança da câmara, providenciando o acomodamento no interior e redução de desacelerações no impacto, como também a separação dos acessórios.
- O ultimo constituinte do conjunto é o manual de instruções de instalação. Foi colocado na parte superior do inserto de modo a garantir que era o primeiro conjunto a ser visualizado, melhorando a experiencia do utilizador.

Todos os conjuntos analisados sofreram o correto desenvolvimento e testes necessário para a sua implementação. Nas imagens seguintes é possível observar alguns dos pontos referidos.



**Figura 54** – Conjuntos pertencentes à embalagem da Dinion. Caixa FEFCO 0470 (a.). Saco de polietileno (b.). Saco dos acessórios (c.). Inserto de cartão (d.). Colocação do produto na caixa (e.). Manual de instruções (f.).

### 5.1.3 Desenvolvimentos iniciais

Ao finalizar a revisão, o desenvolvimento seguiu 2 caminhos possíveis onde foram realizadas algumas avaliações preliminares do comportamento dos possíveis materiais.

O inicial utilizou o mesmo conceito do inserto de cartão cancelado ou similar, uma vez que era aceite pela logística da empresa e na zona de montagem. Com isto foram revistos novos materiais para a substituição do saco que envolvia a câmara, após ter sido detetado que o mesmo não permitia a pré configuração. Os materiais escolhidos foram filmes de proteção, existindo 3 possíveis, um saco de plástico bolha e bandas Termo retráteis.

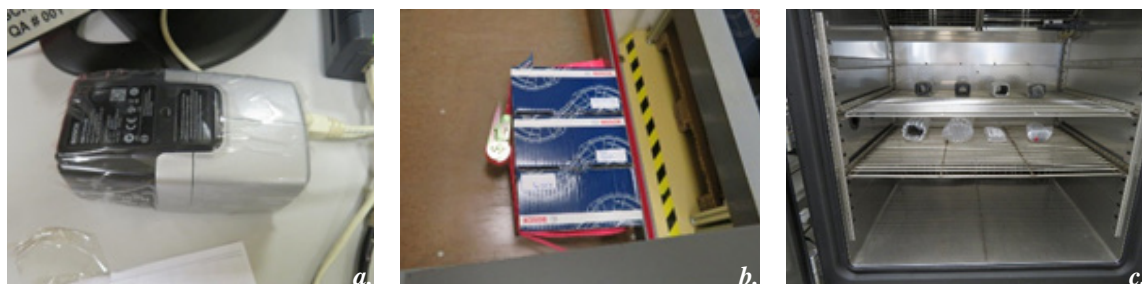
O segundo trajeto e inserido juntamente com o desenvolvimento da GEN 5, foi a escolha de substituição do saco pelo material Air Pack. Este segundo desenvolvimento com o novo material, permitiria à empresa uma segunda abordagem a produtos de dimensões inferiores, onde as especificações técnicas não são no mesmo grau de severidade.



**Figura 55** – Materiais selecionados para os desenvolvimentos iniciais. Plástico bolha (a.). Filme termo retrátil (b.). Filme de proteção (c.). Air Pack (d.).

De modo a selecionar qual dos trajetos e materiais com que deveria ser realizado o desenvolvimento foram executados alguns testes simples, onde avaliamos esses materiais, e também verificações ao nível de custos e logística. Para todos os materiais apresentados foram efetuados os seguintes testes.

- Teste de temperatura na altura de pré-configuração do produto. Pretendemos verificar se esse aumento poderia de algum modo danificar o material de embalagem, impedindo o seu correto funcionamento ou danificar o próprio produto que estariam a proteger. O teste foi realizado com a conexão da câmara com um software e deixado em funcionamento por um período de 30 minutos.
- O teste de vibração pretendeu estudar e simular se os materiais selecionados provocariam algum estrago na câmara durante o transporte. Foi selecionada uma frequência de 230 Hz por um período de 30 minutos.
- O teste em câmara climática, pretendeu avaliar o comportamento do material quando sujeito a um período longo de temperatura, simulando o seu transporte ou armazenamento. O teste foi realizado por um período de 24h, a uma temperatura de 55°C e humidade relativa de 90%.



**Figura 56** – Teste de Pré-Configuração (a.). Teste de Vibração (b.). Teste Climático (c.).

As avaliações aos resultados encontrados nos testes foram positivas. Os materiais demostraram ser capazes de suportar as agressões impostas, existindo por vezes condensações nos testes climáticos e alguma deposição de adesivo por parte de alguns filmes protetores, mas sem nunca impossibilitar a utilização do produto. A parte final do desenvolvimento passou pela seleção final do material, desse modo a tabela seguinte, desenvolvida na empresa, permitiu ajudar a decisão comparando parâmetros importantes para a empresa.

**Tabela 27** – Tabela de decisão de materiais, desenvolvida especificamente para a empresa.

Material	Transport	Cost	Assembly time	Log	Protection	Total
Tesa 51136*	3	3	1	2	3	12
Bubble Bag	3	2	3	4	4	16
Bubble Wrap Bag*	3	2	3	4	3	15
Normal Bag*	2	4	3	3	2	14
Shrink Band*	2	1	4	2	3	12

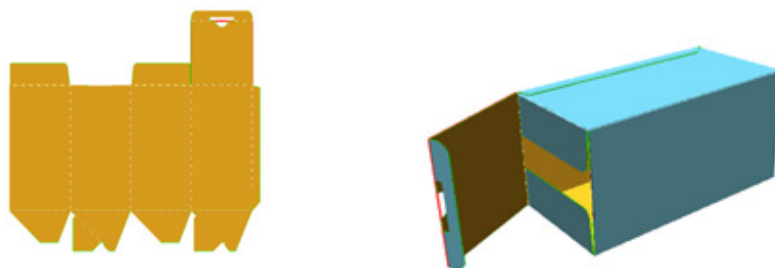
\* - Need to take a cardboard insert

1	Bad
2	Average
3	Good
4	Very Good

### 5.1.4 Desenvolvimento Final

Concluído a pesquisa dos materiais a utilizar foi definido explorar o novo material Air Pack. Existirão algumas variações de conceitos, mas foi permitido ao cliente do produto a escolha numa fase final, tendo em consideração o desenvolvimento realizado.

De modo a facilitar a pré configuração da camara, foi determinado que a caixa utilizada na embalagem corrente necessitava de ser substituída. Neste âmbito, a pesquisa realizada centrou-se em formatos já existentes na empresa e nos quais fosse possível reduzir o tempo de montagem, na linha de produção. Ao contrário da caixa anterior que obrigava o colaborador a dobrar o cartão na altura de montagem, a escolhida reduzia esse processo passando para um sistema automático. A caixa FEFCO 0711 possui essas qualidades, sendo a escolhida para o desenvolvimento final, conforme pode ser observado na figura.



**Figura 57** – Desenvolvimento do conceito da caixa FEFCO 0711.

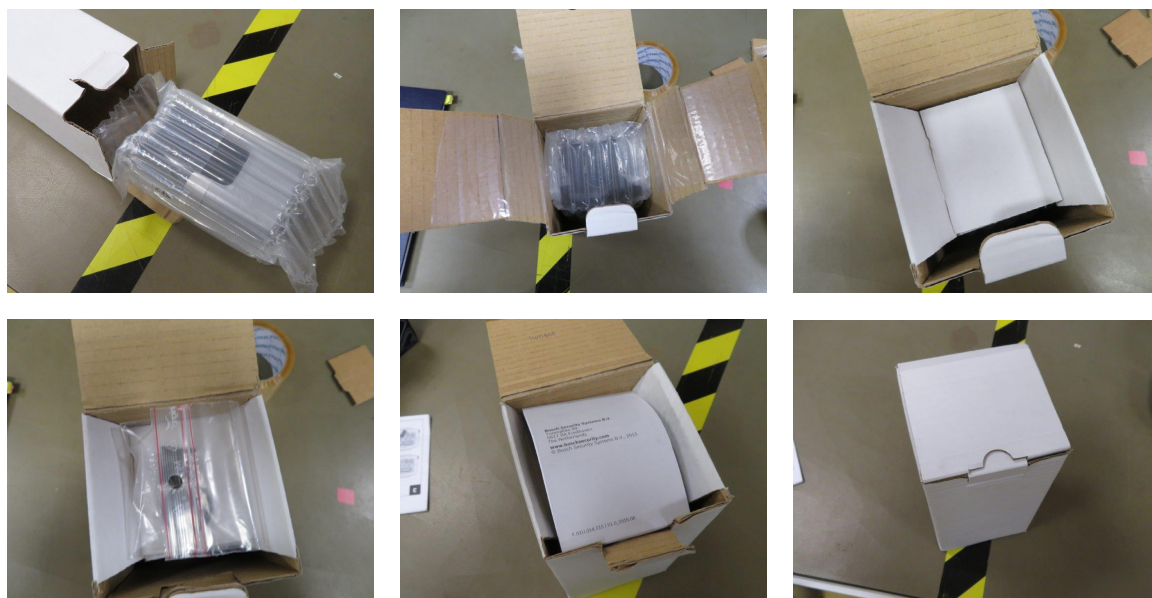
O desenvolvimento do inserto de Air Pack foi realizado em parceria com o fornecedor, onde alguns conceitos foram elaborados, mas tendo sempre em consideração os fatores de armazenamento, montagem em produção e restrições técnicas. Com isto, o conceito final desenvolvido pode ser caracterizado como um saco do material Air Pack prolongado na parte superior para garantir algum suporte na face do produto durante o impacto. As imagens seguintes permitem a observação do conceito em vazio e após enchimento.



**Figura 58** – Conceito final do material Air Pack para o projeto Dinion.



A fase final do desenvolvimento da embalagem para o Hubble 1 passou pela montagem de todas as partes constituintes e analisar o resultado obtido. Uma vez que os acessórios foram colocados numa parte separada do saco de air pack devido a custos, foi desenvolvido na caixa uma separação entre a câmara e o saco dos acessórios providenciado pelas abas. O seguimento das figuras seguinte pretende ilustrar a sequência de montagem.



**Figura 59** – Ilustração da sequência de montagem do novo conceito do projeto Dinion.

### 5.1.5 Análises finais

Para a empresa foi necessário avaliar os custos referentes a este desenvolvimento e, comparando com a embalagem atual, verificar se existiria alguma poupança. A tabela seguinte serve como um resumo desta avaliação, exemplificando o custo anual do produto e quais os impactos da embalagem.

**Tabela 28** – Análise dos custos referentes ao projeto Dinion.

Material Cost					
Production of 53000			2015	2016	2017
	SAP Number	Description	€	€	€
Current Box	F.01U.299.238	CMP Box 200x200x310	0,04 €	0,04 €	0,04 €
	F.01U.290.904	Printed Box 200x100x100	0,18 €	0,18 €	0,18 €
	F.01U.299.239	CMP Hubble 1 Insert	0,09 €	0,09 €	0,09 €
		Plastic bag	0,01 €	0,01 €	0,01 €
		Label	0,01 €	0,01 €	0,01 €
		QIG	0,01 €	0,01 €	0,01 €
		Total Cost per product	0,33 €	0,33 €	0,33 €
Total Cost for 12 months			3 160,79 €	6 771,15 €	17 080,75 €
New Concept	F.01U.299.238	CMP Box 200x200x310	0,04 €	0,04 €	0,04 €
		Printed Box 200x100x100	0,18 €	0,18 €	0,18 €
		Label	0,01 €	0,01 €	0,01 €
		QIG	0,01 €	0,01 €	0,01 €
		Air bubble Insert	0,09 €	0,09 €	0,09 €
		Total Cost per product	0,33 €	0,33 €	0,33 €
		Total Cost for 12 months	3 122,46 €	6 689,03 €	16 873,61 €
Estimated Gain			38,33 €	82,12 €	207,14 €



Concluindo que o desenvolvimento realizado não atingiu um ganho anual considerável, para este produto e para a empresa, foi necessário verificar outras possíveis melhorias. Os tempos de montagem foram diminuídos, principalmente pela mudança da caixa, sendo na nova solução uma caixa de fundo automático. Nas linhas de montagem foi reduzida a quantidade de lixo produzido e uma melhor facilidade de embalagem do produto.

O maior impacto que este desenvolvimento pode produzir para a empresa, é a possibilidade de alterar o paradigma para a aplicação de novos materiais e novas soluções.

## **5.2 Gen 5**

### ***5.2.1 Proposta***

Conforme foi explicado no capítulo I, o projeto da GEN 5 teve como principal intuito a substituição da embalagem de proteção anterior, feita de espuma EPE, pelo novo material Air Pack. Para a empresa este trabalho poderá fornecer conjuntos de benefícios como diminuição de custos, a facilidade na logística e no armazenamento do material.

Nesta fase será explicado o desenvolvimento do projeto e quais os passos tomados para chegar à solução final. Todo o trabalho com o material foi realizado em parceria com o fornecedor uma vez que a solução encontrada necessitava de ter um caráter customizado para o produto abordado.

### ***5.2.2 Revisão***

Previamente a qualquer idealização de conceitos, foi obrigatório realizar uma revisão dos materiais utilizados, bem como todas partes que necessitariam de ser transportadas. Durante este exame foram igualmente retiradas as dimensões gerais, permitindo, numa posterior análise, verificar quais os benefícios logísticos que conseguiram ser obtidos.

O começo da revisão passou pela compreensão de quais os componentes que necessitavam de ser transportados e dispostos no interior da embalagem. Reconhecemos um total de 3 componentes importantes que são a câmara GEN 5, um acessório cúbico e um aro plástico. Uma vez que o produto possui duas gamas diferentes, uma exterior e uma interior, o transporte pode ser realizado com ou sem acessórios. Dessa forma a embalagem pensada e existente em produção permite esta versatilidade de transporte.

A embalagem é composta por 4 partes importantes, que foram analisadas de modo a entender como seria possível realizar o melhoramento garantindo as mesmas qualidades.

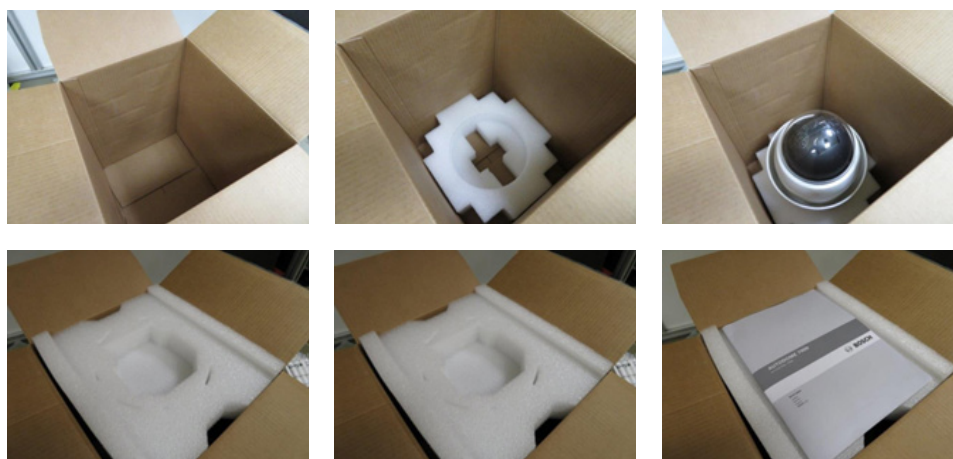
- A caixa exterior é feita de cartão canelado e possui um flute BC com 6,5 milímetros de espessura. As dimensões da área da caixa já estão otimizadas à paleta de transporte pelo que a única dimensão, possível de variar, será a altura da caixa, tendo sempre em consideração a altura máxima da paleta.

- O meio de amortecimento é realizado pela conjugação de duas partes de espuma EPE, uma superior e uma inferior, corretamente dimensionadas às margens da câmara e da caixa. Na espuma superior são colocados os acessórios quando é requerido o transporte.
- Existe um conjunto de 4 cantos, feitos de cartão canelado, dobrados na linha de montagem, que ajudam no suporte da estrutura da caixa devido às espumas estarem posicionadas na base e topo.
- A câmara, antes de ser embalada, é colocada no interior de um saco devido a não ser totalmente isolada e as variações de temperatura provocarem alguma humidade no interior.



**Figura 60** – Partes constituintes da embalagem do projeto GEN 5. Caixa de cartão (a.). Espumas de EPE (b.;c.). Canyos em cartão canelado (d.). Saco ESD (e.).

Antes de avançar para a fase de desenvolvimento, existe o requisito de visualizar a sequência de montagem e perceber quais as disposições na caixa. As mesmas não serão uma obrigação no desenvolvimento realizado, mas permitem uma compreensão do pensamento considerado no processo anterior. A caixa é montada na linha de produção e fechada com fita-cola. No interior é colocado inicialmente a espuma inferior e depois a câmara envolta num saco próprio. Os cantos, de cartão canelado, são dobrados e montados na caixa finalizando com a espuma superior. A fase final passa pela colocação dos acessórios e o manual de instruções no topo e o fecho da caixa com fita cola. As imagens seguintes pretendem ilustrar os pontos referidos.



**Figura 61** – Ilustração da sequência de montagem da embalagem do projeto GEN 5.

### ***5.2.3 Primeiro desenvolvimento***

A pesquisa e criação de conceitos para a formulação da ideia foram desenvolvidos em conjunto com o fornecedor, pelo que a troca de informação e o método de contato, foram os pontos importantes para chegar ao desenvolvimento final.

Numa primeira fase foi questionado ao fornecedor quais as soluções standards possíveis para a câmara e os acessórios, levando em consideração os pontos levantados. Dessa forma o conceito inicial, devido às soluções standards, pressupunha que os componentes estariam todos separados e sem nenhuma interligação, visível nas imagens.

A solução apresentada parecia ser viável do ponto de vista de ser possível transportar todos os componentes, mas não alcançava os padrões da empresa do ponto de vista de usabilidade para o consumidor, logística interna e proteção do produto. Dessa forma e em contacto com o fornecedor foi optado por uma solução customizada para o produto.



**Figura 62** – Conceito inicial do projeto GEN 5.

### ***5.2.4 Segundo Desenvolvimento***

Com um caminho delineado e já alguns pontos discutidos de melhoria, foi observado durante o primeiro desenvolvimento algumas mudanças possíveis a realizar e em conversa com o fornecedor foi tentado atingir os objetivos.

Foi proposto nesta segunda fase, que os acessórios pudessem ser embalados em conjunto, visto que, caso o produto obrigasse ao seu transporte, os mesmos não necessitavam de estar separados no interior da embalagem, aumentando assim a usabilidade para o consumidor.

Um ponto importante, revisto e analisado, foi a utilização do saco que envolve a camara, percebendo o seu intuito e se seria possível a sua remoção mantendo as propriedades de isolamento. A proposta deveu-se ao facto da possibilitar uma redução do custo das embalagem e uma redução de material necessário transportar e montar na linha de produção. Com isto a proposta desenvolvida caracterizou-se por um saco fechado na parte inferior.



**Figura 63** – Segundo desenvolvimento para o projeto GEN 5.

Em todas as fases de desenvolvimento deste projeto, foram realizadas sequencias de montagem verificando se as dimensões exteriores dos conceitos estavam dentro das dimensões interiores da caixa, garantindo a otimização da paleta. Estes passos permitiam observar questões de usabilidade e disposição dos componentes na caixa.



**Figura 64** – Ilustração da sequência de montagem da segunda fase de desenvolvimento do projeto GEN 5.

### ***5.2.5 Terceiro desenvolvimento***

Ao finalizar a análise ao segundo desenvolvimento, foi possível constatar que alguns pontos como a remoção do saco e o conceito dos acessórios precisavam de alguma alterações.

Em conversa com o fornecedor foi desenvolvido um terceiro conceito. A solução para os acessórios sofreu uma pequena alteração de aumento de altura, aliviando assim alguma pressão causada pelo material Air Pack. Esta melhoria, permitia igualmente, uma facilidade na remoção dos acessórios do interior da embalagem e alguma liberdade de movimento. O contacto entre os mesmos foi impedido através de um acrescento não insuflado, impossibilitando a criação de riscos ou danos nos acessórios.



**Figura 65** – Conceito final dos acessórios do projeto GEN 5.

A solução para a GEN 5 atingiu também alguns objetivos importantes como a remoção do saco existente na embalagem anterior. O conceito criado permitia um isolamento da câmara das agressões exteriores através do fecho do saco com uma tira de fita cola já existentes na solução. Ao ser customizado para o produto, as dimensões definidas possuem já ajustes corretos para a fácil inserção e remoção da câmara.



**Figura 66** – Terceiro desenvolvimento da solução da GEN 5.

Foi novamente realizada a sequência de montagem validando se a usabilidade e disposição dos componentes estava de acordo com os parâmetros da empresa.



**Figura 67** – Ilustração da sequência de montagem da terceira fase de desenvolvimento do projeto GEN 5.

De modo a validar a embalagem e verificar se a solução encontrada cumpria os requisitos necessários, para o correto transporte do produto, foram realizados dois testes.

Inicialmente foram realizados 2 testes nas câmaras climáticas da empresa, onde comparamos a solução anterior do saco com a nova solução de Air Pack. Um teste correspondeu a um choque térmico onde a temperatura foi elevada e baixada num ciclo rápido, possuindo um período máximo de 55 minutos. O segundo teste caracterizou-se por um ciclo longo onde as temperatura variaram lentamente por um período de 260 minutos.



Os resultados obtidos foram positivos existindo por vezes menos condensação no interior da câmara quando utilizado o novo conceito. Ao chegar a esta conclusão podemos considerar que esta solução possa remover a existência do saco.



**Figura 68** – Exemplo da humidade atingida após os testes climáticos. Saco utilizado. Novo conceito Air Pack.

O segundo teste realizado e conforme revisto na literatura, importante para a empresa, foi o teste de queda. As principais avaliações passaram, pela análise do novo material e se o mesmo possuía algumas deformações após impacto, bem como a medição do valor da desaceleração sentida pela câmara.

Os resultados obtidos neste teste, permitiram verificar que a desaceleração consegue ser reduzida para valores de 40G, comparando com a solução anterior que atingia valores de 90G. Este foi um resultado bastante positivo para a utilização do novo material.

Durantes os testes de queda existiram falhas no material e o mesmo rebentou, não garantindo posterior proteção. Com os resultados obtidos foi necessário contactar o fornecedor para um novo desenvolvimento.



**Figura 69** – Resultados dos testes de queda do terceiro conceito do projeto GEN 5.

### ***5.2.6 Desenvolvimento Final***

A fase final do desenvolvimento da solução passou principalmente pela criação de um último conceito para a GEN 5, uma vez que o conceito dos acessórios estaria finalizado. Os testes anteriores possibilitaram uma compreensão do local onde existiria mais probabilidade de rebentamento dos alvéolos.

Com isso a solução deve ser qualificada como uma mistura do conceito inicial, da solução standard, com o último desenvolvido, garantindo assim o isolamento contra questões ambientais e de impacto. A proteção inferior, onde existe uma maior problemática, foi resolvida criando um espaço em vazio onde a câmara pode repousar e durante o impacto não rebentar o material, ilustrado nas figuras.



**Figura 70** – Solução final do projeto GEN 5.

Para que fosse possível comprovar o correto funcionamento do conceito criado, foi efetuada a sequência de montagem avaliando a usabilidade e disposição dos componentes. Nesta fase foram realizadas algumas apresentações a colaboradores da empresa, como também na linha de produção aumentando assim a riqueza da informação acerca do novo desenvolvimento.



**Figura 71** – Ilustração da sequência de montagem da solução final do projeto GEN 5.

Considerando a mudança de formato, neste novo conceito para a camara, foi necessária uma nova realização dos testes apresentados anteriormente, validando para a empresa o desenvolvimento realizado. Os resultados obtidos nos testes de impacto foram positivos contrariamente observado anteriormente o que permitiu assumir esta solução como valida para a utilização num produto Bosch.

### **5.2.7 Análises finais**

Durante todo o processo de desenvolvimento, foram realizadas algumas analises a pedido da empresa, incidindo principalmente em parâmetros de logística e preços do material. A principal razão deste trabalho, recaiu essencialmente na compreensão se a solução apresentada, melhoraria de forma significativa os processos da empresa e uma elevada redução de custos em termos da embalagem.

Durante a avaliação em torno do custo do material utilizado, foi encontrado uma grande poupança com o novo desenvolvimento. Uma vez que existiu uma redução da quantidade de material utilizado e do próprio custo de matéria prima com a nova solução, a empresa conseguirá obter uma poupança de 100.000€ por ano, caso este projeto seja aprovado por parte dos responsáveis do produto. Na tabela seguinte é possível visualizar os valores calculados e a comparação com a embalagem anterior.

**Tabela 29** – Análise dos custos referentes ao projeto GEN 5.

Production of 23000 products			First 12 months	Estimation of Production
	SAP Number	Description	€	€
Current Box	F.01U.310.615	CMP GEN5 CARTON SUPPORTS	0,51 €	0,51 €
	F.01U.316.250	CMP GEN5 TOP FOAM INSERT V2	2,98 €	2,98 €
	F.01U.316.251	CMP GEN5 BOTTOM FOAM INSERT V2	2,35 €	2,35 €
	F.01U.309.420	CMA PRINTED STD BOX 330x300x400	0,84 €	0,84 €
	F.01U.316.406	QIG MIDAS	0,28 €	0,28 €
	F.01U.314.906	ESD ZIP Bag 455x455mm	0,81 €	0,81 €
	F.01U.083.497	LABEL PRINTED FCC STATEMENT 31x12mm	0,01 €	0,01 €
	Total Cost per product		7,78 €	7,78 €
	Total Cost		67 543,51 €	178 830,52 €
	SAP Number	Description	€	€
New Concept	F.01U.309.420	CMA PRINTED STD BOX 330x300x400	0,84 €	0,84 €
	F.01U.310.615	CMP GEN5 CARTON SUPPORTS	- €	- €
	F.01U.316.406	QIG MIDAS	0,28 €	0,28 €
		CMP Airpack insert	1,00 €	1,00 €
		CMP ACC Airpack insert	1,00 €	1,00 €
	F.01U.083.497	LABEL PRINTED FCC STATEMENT 31x12mm	0,01 €	0,01 €
	Total Cost per product		3,12 €	3,13 €
	Total Cost		27 131,59 €	71 990,00 €
	Estimated Gain		40 411,92 €	106 840,52 €

A segunda avaliação realizada recai sobre a melhoria logística em fábrica e armazém. Com este trabalho não foi possível apresentar uma poupança em valor monetário, mas o impacto que este desenvolvimento pode produzir na fábrica é mais importante. De modo a entender essa mais valia, foi realizada a revisão do transporte para a linha de montagem e o método de receção do material em armazém, bem como o armazenamento em fabrica e no armazém.

Nas imagens seguintes é possível observar o método de receção das espumas EPE, enviadas pelo fornecedor, a sua colocação nas estruturas do armazém e o espaço ocupado nos racks de transporte para as linhas de produção. Esta visualização permite perceber o espaço ocupado e a quantidade de viagens necessárias para o reabastecimento em linha de produção, algo que causa gastos na empresa.





**Figura 72** – Logística das espumas.

A nova solução encontrada para o produto GEN 5 produz uma vantagem comparativamente com as espumas. Considerando que o material é transportado em vazio até a linha de produção, o impacto no espaço ocupado será reduzido tanto em armazém como nos racks de transporte. Não existiu uma análise exata de quantidades, uma vez que o trabalho deverá ser realizado em parceria com o departamento de logística, mas com a nova solução poderia ser possível armazenar a produção de 1 ano.



**Figura 73** – Representação da logística do novo material Air Pack.



## **Conclusões**

As conclusões apresentadas, dos desenvolvimentos realizados, pretendem explicar a mais valia para a empresa da utilização do novo material Air Pack.

### ***Equipamento de queda***

O desenvolvimento realizado passou por várias fases, mas a solução final encontrada permite a realização dos testes do método de “Stress-Energy” e obtenção dos valores das acelerações. As guias lineares e os patins, inicialmente escolhidos, não permitiram realizar o deslocamento pretendido com um atrito reduzido, devido ao não paralelismo e alinhamento da estrutura. Na solução final o tabuleiro realiza o movimento vertical descendente completamente livre, pelo que é necessário verificar o impacto e direção. O movimento vertical ascendente é realizado pelo colaborador não existindo viabilidade, até ao momento, de um motor ou mecanismo para auxiliar o movimento.

### ***Teste da variação das dimensões***

Um ponto importante que devemos reter dos testes realizados passa por compreender que a dimensão do diâmetro facultada pelo fornecedor não corresponde à dimensão final após enchimento, mas sim à dimensão em vazio. As dimensões do diâmetro dos alvéolos após o enchimento, reduzem cerca de 40% em média do valor inicial. Os tamanhos de largura reduzem 30% em média, após enchimento, na direção perpendicular aos alvéolos. As diferentes pressões de enchimento não provocam no material nenhuma relevante variação nos diâmetros finais. Podemos entender que as dimensões do material serão as mesmas a diferentes pressões. Existe então uma dificuldade em imaginar por vezes qual será o resultado final, mas as conclusões obrigam a alguns cuidados quando são pedidas as dimensões.

### ***Testes de vácuo***

O material testado consegue estar sujeito a todas as agressões normalmente atingidas pelos meios de transporte utilizados.

Devido ao material ter a elasticidade suficiente para aguentar a variação de volume, as diferentes pressões exteriores, possíveis de sentir durante o transporte, não provocam nenhum estrago significativo nas pressões interiores utilizadas. As pressões atmosféricas até ao nível de 0,40 bar ou uma altitude de 6500 metros não provocam no material nenhuma deformação permanente.

No teste foi obtido que a altitude máxima, possível de utilizar com o produto, deve ser de 8000 metros. Para que próximos testes possam melhorar os dados dos valores apresentados, propõe-se a verificação de dois parâmetros importantes.

- A velocidade de aumento e diminuição da pressão exterior, visto que pode influenciar o comportamento do material e a sua deformação.
- A temperatura à qual é realizado o teste, visto que o ar possui
- um comportamento diferente quando existe uma variação na temperatura.

### ***Testes de Temperatura***

Do estudo realizado e dos parâmetros definidos, as temperaturas máximas e mínimas que o material pode suportar são de 45°C e -15°C, respetivamente. Podemos então concluir que até essas temperaturas o material não sofre qualquer dano e a sua utilização continua a ser válida em ambos os estados de utilização.

Quando analisadas as humidades relativas, o máximo verificado foi de 98%. Até este valor o material não demonstrou nenhum sinal de deformação.

Existiram, no entanto, durante os testes algumas ocorrências de condensações no material, principalmente nos canais de enchimento e nas zonas de soldadura e alvéolos. Este acontecimento não danifica o material, mas poderão ser um parâmetro significativo para a sua escolha.

Os tempos analisados nos testes foram de 72 horas e 100 horas. Estes permitiram a estabilização das temperaturas e do material às agressões implementadas. Podemos também verificar que, ao provocar um envelhecimento do material, nos tempos impostos, o mesmo não demonstra nenhum dano significativo e que impossibilite a sua utilização.

### ***Testes de Compressão***

Nos testes realizados, verificando os resultados obtidos e mais favoráveis, podemos concluir que a força máxima estática que o material consegue suportar deve ser inferior a 5000 N. A nível estático a pressão no interior dos alvéolos deve ser inferior a 15 bar, de modo a garantir que não existe nenhum rebentamento durante transporte normal. Através das análises realizadas podemos verificar que a carga estática possível de suportar pelo material é de 0,10 MPa.

### ***Testes de Impacto***

Os resultados obtidos nos testes de impacto são reduzidos, desse modo não é possível realizar nenhuma conclusão final em termos de capacidade do material. No entanto, é possível constatar que através da existência de alguns resultados, existiu uma validação do equipamento desenvolvido

e criado é viável e o método proposto para desenvolver as curvas de amortecimento pode ser realizado.

### ***Hubble 1***

O desenvolvimento realizado alcançou o objetivo proposto pela empresa, permitir a pré-configuração da câmara sem necessidade de a remover da caixa. Esta solução, não só foi aprovada por parte dos responsáveis do produto, mas utiliza o material Air Pack como principal meio de proteção. Com isto podemos aumentar a justificação do desenvolvimento desta tese e as razões da implementação deste material na indústria da embalagem de produtos eletrónicos de alta qualidade.

Anível logístico e de custos de matéria-prima não foram atingidas nenhuma melhoria significativa, mas o tempo de montagem da caixa na linha de produção foi reduzido, devido à mudança da caixa anterior para um processo automático.

### ***GEN 5***

O projeto passou por um grande número de fases de desenvolvimento, devido à sua complexidade e igualmente às duas variações de transporte. Com estes parâmetros e a necessidade de garantir um impacto inferior a 100 G's, a procura da melhor solução obrigaram a um constante contacto com o fornecedor e novos conceitos.

Os conceitos idealizados, para a câmara e restantes componentes, permitiram as duas variantes no transporte com ou sem acessórios. Os resultados nos testes de impacto foram positivos alcançando valores de 40 G's, bastante inferior ao requisitado. Os testes nas câmaras climáticas mostraram a possibilidade de remoção do saco utilizado na embalagem atual, uma vez que os resultados apresentaram idênticas quantidades de condensação no interior da câmara.

Na análise logística foi possível reduzir o impacto na fábrica, diminuindo a quantidade de viagens para reabastecimento das linhas de montagem. No armazém será possível, com mais alguma pesquisa, implementar uma solução que condicione no mesmo espaço, utilizado pela embalagem atual, a produção de um ano. A empresa conseguirá, com a solução idealizada, obter uma poupança de 100.000€ anuais em matéria-prima, devido a redução de partes de embalagem necessária.

## ***Trabalho Futuro***

Terminar a dissertação ajudou a compreender que o trabalho realizado, durante a dissertação, não está totalmente finalizado. Deverá ser efetuada mais investigação e exploração de soluções com o material Air Pack, de modo a permitir à empresa um maior conhecimento. Os testes e estudos efetuados, permitiram o início da caracterização do material, mas futuramente deveram ser exploradas análises ao filme. Em parceria com o fornecedor será possível atingir a especificação e os parâmetros desejados.

A implementação das soluções propostas na dissertação e as poupanças atingidas com a alteração da matéria prima, ajudaram a empresa a oferecer uma posição de trabalho ao estudante da dissertação. O trabalho realizado permitirá uma ajuda em futuros desenvolvimentos entre a empresa e faculdade.

## Referências bibliográficas

- [1] Berger, K. Welt, B. "A Brief History of Packaging" University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS 2005.
- [2] Risch, Sara J. "Food packaging history and innovations." Journal of agricultural and food chemistry 57.18 (2009): 8089-8092.
- [3] Francis, F. J. Wiley Encyclopedia of Food Science, 2nd ed.; Wiley: New York, 2000; Vol. 4, p 2306.
- [4] "Future of packaging 2016 report", Racounter. 2016.
- [5] "Future of packaging 2015 report", Racounter. 2015.
- [6] TAPPI T 810 om-98. "Bursting strength of corrugated and solid fiberboard." Corrugated Containers Division.1998.
- [7] TAPPI T 403 om-97. "Bursting strength of paper." Process and Product Quality Division. 1997.
- [8] Popil Roman. "Predicting Box Compression Strength" Georgia Institute of Technology.
- [9] TAPPI T 410 om-08. "Grammage of paper and paperboard (weight per unit area)". Test Method. 2008.
- [10] Howe, Emily. "The re-invention of molded pulp." Rochester Institute of Technology (2012).
- [11] "What Is Molded Pulp?". Sustainable Packaging Industries.
- [12] Shealy A. "Molded Pulp Packaging and Machinery Innovations" Department of Packaging Science. Clemson University.2008.
- [13] "What is Expanded Polystyrene (EPS) foam? The possibilities are endless!" Insulation Corporation of America.
- [14] "Styrofoam Brand Foam vs Expanded Polystyrene (EPS)." Universal Foam Products.
- [15] "What is polystyrene foam? | Different uses of polystyrene -." Hotwire Systems OÜ.
- [16] "What Is the Difference in EPE Foam & EVA Foam?" Sciencing.
- [17] "What Is EPE (Expandable Polyethylene)?" EN-Main.
- [18] Guangzhou Packbest Air Packaging Co., Ltd. - Air Bag packing, PE Fill Roll.
- [19] "Air Packaging | Inflatable Packaging | Bottle Packaging | Packing Systems." Airpack Systems.
- [20] "Column Air Packaging." Sealer Sales Column Air Packaging.
- [21] Corporation, DIC. "What is Coextruded Multi-layer Film?" What is Coextruded Multi-

layer Film? | DIC Corporation.

[22] “Inflatable Packaging for Electronics | Protective Packaging | AIR-PAQ.” AIR-PAQ Composite Material (Shanghai) Co., Ltd.

[23] Dooley, J. “Determining the processability of multilayer coextruded structures.” Antec-Conference Proceedings- Vol. 4. 2007.

[24] “PA - Polyamide.” PA Polyamide Nylon - TECAMID | Ensinger.

[25] Lazonby, John. “Polyamides.” The Essential Chemical Industry online.

[26] Liao, Chian Hua, Yao Sin Liao, and Bo Xin Jian. “Inflatable pneumatic bag.” U.S. Patent No. 7,695,786. 13 Apr. 2010.

[27] L.A.B. Equipment, Inc. “Vibration Data Collection: a Road Worth Traveling?” .2006.

[28] P. Bhat, A. J. Chandrasekhar. “Shock response spectrum analysis approach for optimal design of electronic devices”, Axiom Consulting Pvt. Ltd.

[29] Chonhenchob, V., Singh, S. P., Singh, J. J., Stallings, J. and Grewal, G. “Measurement and Analysis of Vehicle Vibration for Delivering Packages in Small-Sized and Medium-Sized Trucks and Automobiles”. Packag. Technol. Sci., 25: 31–38. doi:10.1002/pts.95, 2012.

[30] Singh, S. P., Joneson, E., Singh, J. and Grewal, G., “Dynamic analysis of less-than-truckload shipments and test method to simulate this environment”. Packag. Technol. Sci., 21: 453–466. doi:10.1002/pts.787, 2008.

[31] Jarimopas, B., Singh, S. P. and Saengnil, W., “Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit”. Packag. Technol. Sci., 18: 179–188. doi:10.1002/pts.687, 2005.

[32] Yanfeng Guo, Wencai Xu, Yungang Fu, and Hongtao Wang, “Dynamic Shock Cushioning Characteristics and Vibration Transmissibility of X-PLY Corrugated Paperboard,” Shock and Vibration, vol. 18, no. 4, pp. 525-535. doi:10.3233/SAV-2010-0559, 2011.

[33] Schueneman, Herbert H., “The Practical Aspects of Protective Package Design”. Westpak, Inc.

[34] Russell, P., Kipp, William I., “European Express Shipping Drop/Impact Study”, 2005.

[35] “Guide to Packaging Freight Shipments”, IoPP, Transport Packaging Committee, 2014

[36] Hernández, Salvador, Srinivas Peeta, and George Kalafatas. “A less-than-truckload carrier collaboration planning problem under dynamic capacities.” Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 47.6 (2011): 933-946.

[37] ASTM D3332-99(2016), Standard Test Methods for Mechanical-Shock Fragility of Products, Using Shock Machines, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

[38] Schueneman, Herbert H., “Fragility Assessment: An In-Depth Look at a Now Familiar Process”. Westpak, Inc.



- [39] Newton, Robert E. "Fragility assessment theory and test procedure." (1968).
- [40] Schueneman, Herbert H., "Product Fragility Analysis Made Easy". Westpak, Inc. 2015.
- [41] Schueneman, Herbert H., "Product Shock Fragility Testing: Acquisition and use of Critical Velocity Change Data". Westpak, Inc. 1993.
- [42] ASTM D6653-01, Standard Test Methods for Determining the Effects of High Altitude on Packaging Systems by Vacuum Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [43] Singh, S. P., Singh, J., Stallings, J., Burgess, G. and Saha, K., "Measurement and analysis of temperature and pressure in high altitude air shipments". Packag. Technol. Sci., 23: 35-46. doi:10.1002/pts.877, 2010.
- [44] ASTM D1596-14, Standard Test Method for Dynamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [45] Daum, M. "Simplified Presentation of the Stress-Energy Method for General Commercial Use." Journal of Testing and Evaluation. 36.1(2008): 100-102. Web. 14 Jul 2017.<<https://doi.org/10.1520/JTE101202>>.
- [46] Schueneman, Herbert H. and Escobedo M., "Package Drop Testing: The do's and don't's of Package Impact Performance Tests". Westpak, Inc.
- [47] Hong, Chen, and Katsuhiko Saito. "Simplified Performance Evaluation Methods for Cushioning Materials." Applied Mechanics and Materials. Vol. 200. Trans Tech Publications, 2012.
- [48] Schueneman, Herbert H., "Cushion Material Testing". Westpak, Inc.
- [49] Dunno, Kyle D. "Application of the Stress-Energy Method to Evaluate Enclosed Air Cushion Systems." International Journal of Advanced Packaging Technology 4.1 (2016): pp-216.
- [50] Martinez, Manuel-Alfredo Garcia-Romeu, et al. "Machine for testing cushioning material for packaging." U.S. Patent No. 9,588,028. 7 Mar. 2017.
- [51] Fukushima, Shinji, and Shuichi Kurahara. "Drop test apparatus." U.S. Patent Application No. 11/832,739.
- [52] Sargeant, Homer I. "Shock absorbing structure." U.S. Patent No. 2,890,766. 16 Jun. 1959.
- [53] ASTM D4168-95(2015), Standard Test Methods for Transmitted Shock Characteristics of Foam-in-Place Cushioning Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org).

# Bibliografia

## ***Normas***

ASTM D642-00, Standard Test Method for Determining Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM D4169-05, Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM E171 / E171M-11(2015), Standard Practice for Conditioning and Testing Flexible Barrier Packaging, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM D5276-98(2009), Standard Test Method for Drop Test of Loaded Containers by Free Fall, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM F2096-11, Standard Test Method for Detecting Gross Leaks in Packaging by Internal Pressurization (Bubble Test), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM D3580-95(1999), Standard Test Methods for Vibration (Vertical Linear Motion) Test of Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1999, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM D5112-98(2015), Standard Test Method for Vibration (Horizontal Linear Motion) Test of Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM D999-01, Standard Test Methods for Vibration Testing of Shipping Containers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, [www.astm.org](http://www.astm.org)

## ***Patentes***

Zhang, Jiaying, and Yaopeng Zhang. "Air bag packaging arrangement and self-adhesive checking valve thereof." U.S. Patent No. 9,199,596. 1 Dec. 2015.

Zhang, Jiaying, and Yaopeng Zhang. "Air packaging device product and method for forming the product." U.S. Patent No. 8,911,340. 16 Dec. 2014.

Zhang, Jiaying, and Yaopeng Zhang. "Air packaging device product and method for forming the product." U.S. Patent No. 8,371,093. 12 Feb. 2013.

Zhang, Jiaying, and Yaopeng Zhang. "Air packaging product." U.S. Patent No. 8,016,110. 13 Sep. 2011.

Liao, Chian Hua, Yao Sin Liao, and Bo Xin Jian. "Foldable air cushion." U.S. Patent No. 8,157,096. 17 Apr. 2012.

Yoshifusa, Kark K. "Structure of air-packing device." U.S. Patent No. 7,422,108. 9 Sep. 2008.

Chen, Cheng-Yung, and Tai-Hua Chen. "Air packing bag having film-type check valves." U.S. Patent

No. 7,201,273. 10 Apr. 2007.

Tanaka, Mikio, et al. "Buffer packing bag." U.S. Patent No. 6,629,777. 7 Oct. 2003.

Zhang, Jiaying, and Yaopeng Zhang. "Air bag packaging arrangement and self-adhesive checking valve thereof." U.S. Patent No. 9,199,597. 1 Dec. 2015.

## ***Livros***

Jamnia, Ali. Practical guide to the packaging of electronics: thermal and mechanical design and analysis. CRC Press, 2016.

Twede, Diana, et al. Cartons, crates and corrugated board: handbook of paper and wood packaging technology. DEStech Publications, Inc, 2014.

Blackwell, Glenn R., ed. The electronic packaging handbook. Vol. 4. CRC Press, 1999.

Klimchuk, Marianne R., and Sandra A. Krasovec. Packaging design: Successful product branding from concept to shelf. John Wiley & Sons, 2013.

Hanlon, Joseph F., Robert J. Kelsey, and Hallie Forcinio. Handbook of package engineering. CRC press, 1998.

## ***Artigos***

C. Li, B. Cao, S. Z. You, "Simulation of Huangguan Pear Vibration Damage during Transportation", Applied Mechanics and Materials, Vols. 63-64, pp. 453-456, 2011

Singh, S. P., Singh, J., Stallings, J., Burgess, G. and Saha, K., "Measurement and analysis of temperature and pressure in high altitude air shipments". Packag. Technol. Sci., 23: 35–46. doi:10.1002/pts.877, 2010

Rissi, Giovani Otavio, et al. "Measurement and analysis of truck transport environment in Brazil." Packaging Technology and Science 21.4 (2008): 231-246.

Singh, Sher Paul, et al. "Measurement and analysis of truck and rail shipping environment in India." Packaging Technology and Science 20.6 (2007): 381-392.

Hernández, Salvador, and Srinivas Peeta. "A carrier collaboration problem for less-than-truckload carriers: characteristics and carrier collaboration model." Transportmetrica A: Transport Science 10.4 (2014): 327-349.

Goyal, Suresh, Edward K. Buratynski, and Gary W. Elko. "Role of shock response spectrum in electronic product suspension design." International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging 23.2 (2000): 182-190.

Qian, Jing, et al. "Shock analysis on a packaged washing machine from damage boundary: shock response spectrum to component failure." Shock and Vibration 2015 (2015).

Lu, Fude, Weiming Tao, and De Gao. "Virtual mass method for solution of dynamic response of composite cushion packaging system." Packaging technology and Science 26.S1 (2013): 32-42.

Schueneman, Herbert H., "Dynamic Package Testing: Techniques to Optimize Data Collection". Westpak, Inc.

Schueneman, Herbert H., "What's wrong with the Damage Boundary Test?". Westpak, Inc.

Goyal, Suresh, and Edward K. Buratynski. "Methods for realistic drop-testing." International journal of microcircuits and electronic packaging 23.1 (2000): 45-52.

Schueneman, Herbert H., "A Critical Overview of the Package Development Process". Place Conference, 2010

Liu, Cheng, and Li Na Zhang. "The Stress-Energy Application Software Design Based on LABVIEW." Applied Mechanics and Materials. Vol. 200. Trans Tech Publications, 2012.

Schueneman, Herbert H., "Cushion Engineering, Design and Testing". Westpak, Inc.

Singh, J., et al. "Evaluation of the stress-energy methodology to predict transmitted shock through expanded foam cushions." Journal of testing and evaluation 38.6 (2010): 724-730.

Schueneman, Herbert H and Wong C. L., "Cushion Vibration Testing Comparing Sine vs. Random Vibration Excitation of Different Spring-Mass Models". Westpak, Inc.

Chonhenchob, Vanee, et al. "Measurement and Analysis of Vehicle Vibration for Delivering Packages in Small Sized and Medium Sized Trucks and Automobiles." Packaging Technology and Science 25.1 (2012): 31-38.

"Altitude Simulation for Transportation Testing of Packaging". LACO Technologies

"Inflatable Packaging Systems Under High Altitude Conditions". UPS Professional Services, Inc. 1999

Singh, S. Paul, Gary J. Burgess, and Jagjit Singh. "Package performance testing of dangerous goods in high altitude shipments." Packaging Technology and Science 16.3 (2003): 119-130.

Singh, Sachchida N., and Paul D. Coleman. "Accelerated aging test methods for predicting the long term thermal resistance of closed-cell foam insulation." Center for Polyurethanes Industries Conference. 2007.

Urbanik, Thomas J. Effect of Paperboard Stress-Strain Characteristics on Strength of Singlewall Corrugated Fiberboard: A Theoretical Approach. No. FSRP-FPL-401. Forest Products Lab Madison WI, 1981.

Stern, R. K., and C. A. Jordan. Shock Cushioning by Corrugated Fiberboard Pads to Centrally Applied Loading. No. FSRP-FPL-184. Forest Products Lab Madison WIS, 1973.

Mojzes, Ákos, and Péter Böröcz. "Predicting cushion characteristic on new type of environmental friendly foam." Acta Technica Jaurinensis 3.3 (2010): 395-404.

Kuehner, Marcel. "Market Study: Engineering Plastics (2nd ed.)." Engineering Plastics - Market Study | Ceresana. Web.

# Índice

## Agradecimentos

## Resumo

## Abstract

## Sumário

## Índice de Tabelas

## Índice de Figuras

## Abreviaturas e Símbolos

## Capítulo I - Introdução e Motivações

Empresa	23
Criação do grupo e Desenvolvimento realizado	24
Proposta do caso de estudo	24
Proposta do material	25
Pertinência do problema	26

## Capítulo II - Revisão da Literatura

Breve História da Embalagem	29
Materiais na Indústria da Embalagem	31
Intuito da Embalagem	31
Estado da Arte	32
Air Pack – Estudo e Caracterização	35
Comparação entre materiais de embalagem	39
Transporte de Produtos	39
Finalidade para a empresa	40
Meios de transporte	40

Medições realizadas em transporte	41
Embalagem de proteção no transporte	41
Testes na Indústria da Embalagem	42
Fragilidade do produto	42
Processos de Avaliação da Empresa	43
Estudos à Materia-Prima na Indústria das embalagens	46

### **Capítulo III - Metodologia e Desenvolvimento**

Metodologia para a resolução do problema	53
Abordagem ao problema	53
Início do desenvolvimento	53
Equipamento de choque	53
Estudo da variação das dimensões gerais	63
Teste de Vácuo	65
Testes de Temperatura	69
Testes de Compressão	72
Testes de Impacto	76

### **Capítulo IV - Resultados e Discussão**

Estudo da variação das dimensões gerais	79
Dimensões após enchimento	79
Porcentagem de redução	80
Influência do enchimento na escolha das dimensões	81
Teste de Vácuo	81
Testes de Temperatura	83
Resultados da Serie 1	83
Resultados da Serie 2	84
Resultados da Serie 3	85
Testes de Compressão	86
Testes de Impacto	88
Resumo Final	90

## **Capítulo V - Casos de Estudo**

Hubble 1	91
Proposta	91
Revisão	92
Desenvolvimentos iniciais	93
Desenvolvimento Final	95
Análises finais	96
Gen 5	97
Proposta	97
Revisão	97
Primeiro desenvolvimento	99
Segundo desenvolvimento	99
Terceiro desenvolvimento	100
Desenvolvimento Final	102
Analises finais	103

## **Capítulo VI - Conclusões**

Equipamento de queda	107
Teste da variação das dimensões	107
Testes de vácuo	107
Testes de Temperatura	108
Testes de Compressão	108
Testes de Impacto	108
Hubble 1	109
GEN 5	109

<b>Referências bibliográficas</b>	111
-----------------------------------	-----

<b>Bibliografia</b>	114
---------------------	-----

<b>Índice</b>	117
---------------	-----

## **Apêndices**

Apêndice 1 - Gráficos referentes aos testes de compressão.

Apêndice 2 - Tabelas referentes aos testes de Impacto

Apêndice 3 - Tabela referentes aos testes de Vácuo

Apêndice 4 - Dados referentes ao Equipamento de Queda

## **Anexos**

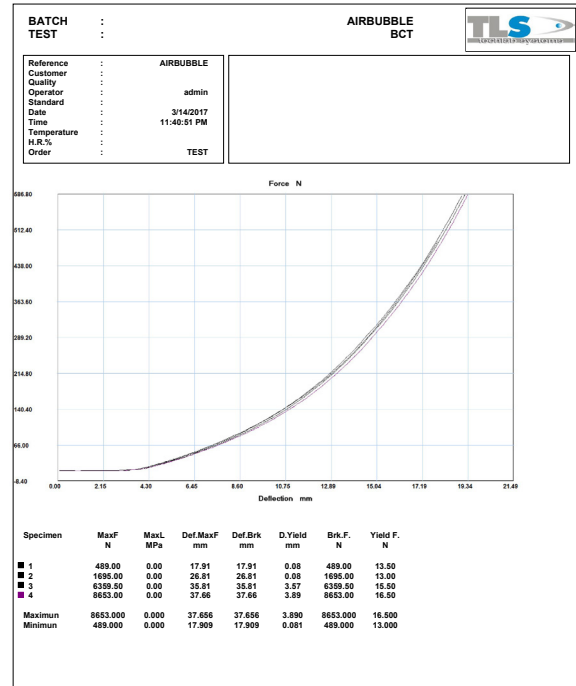
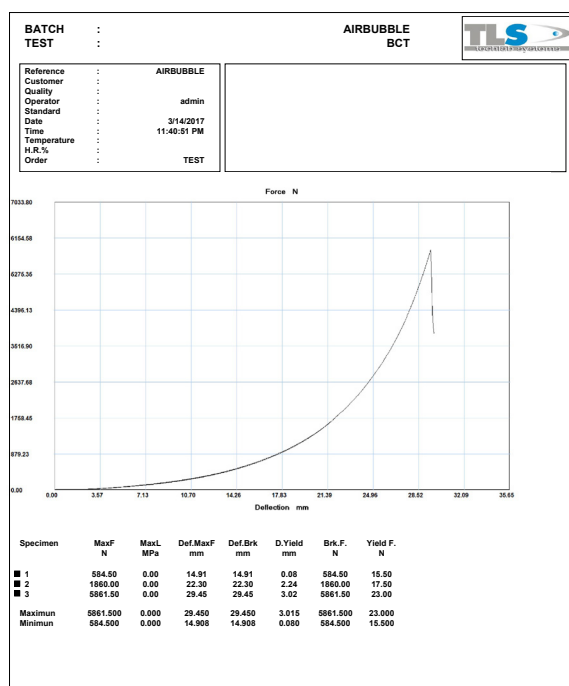
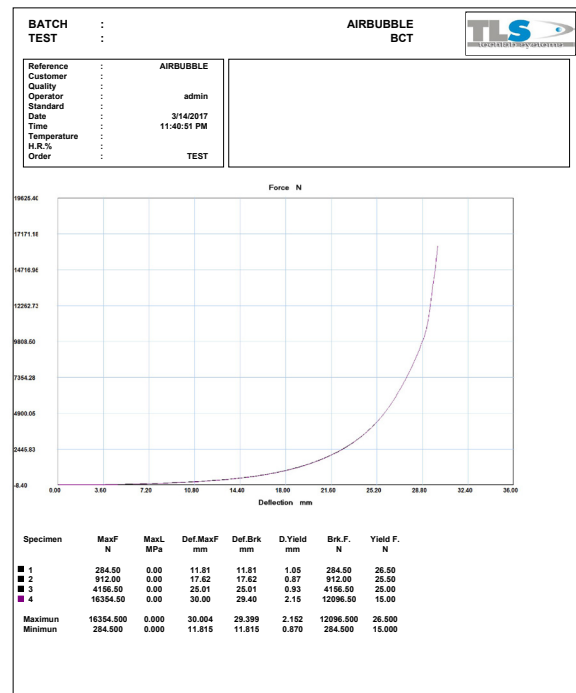
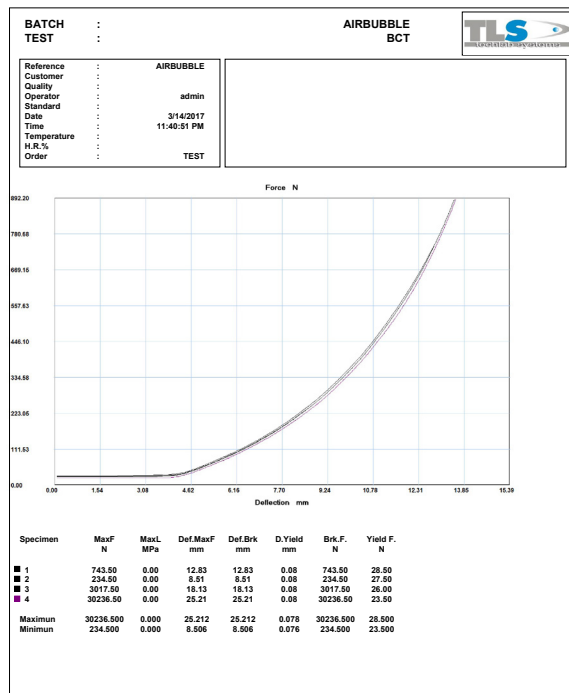
Anexo 1 - Imagens referentes aos testes de temperatura



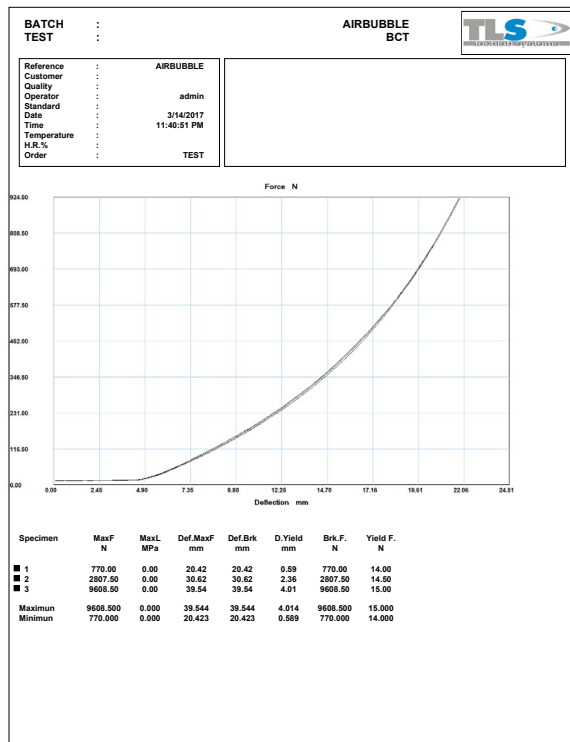
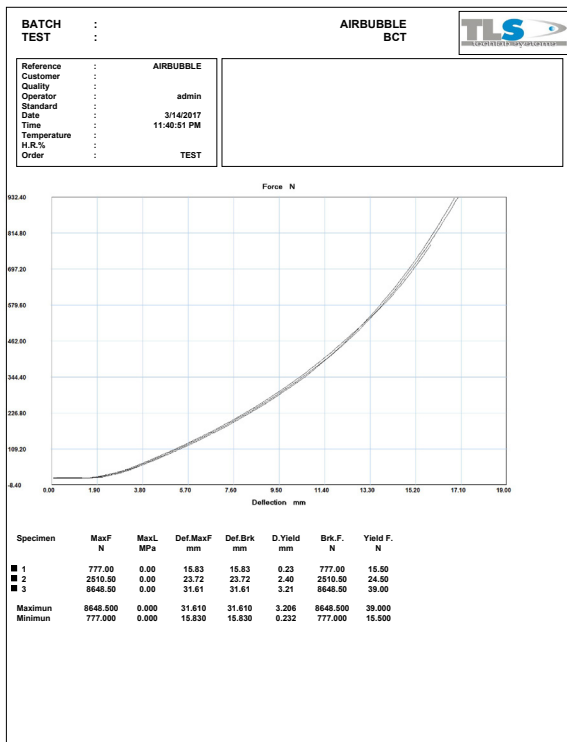
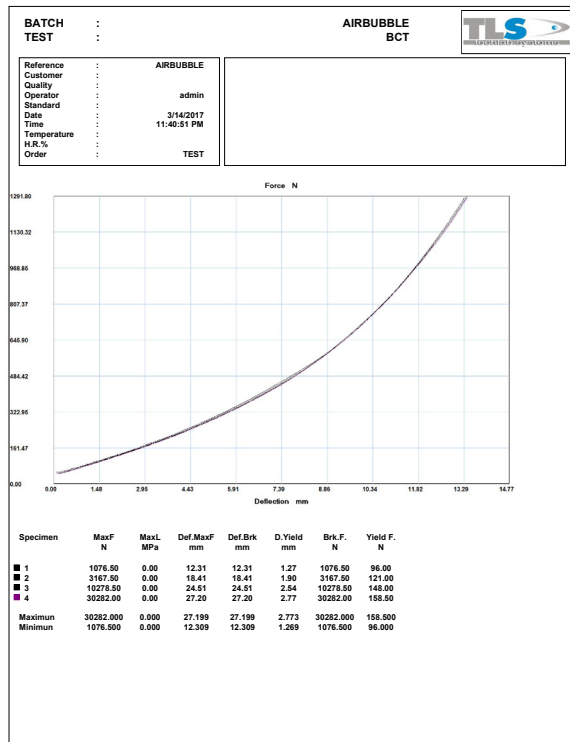
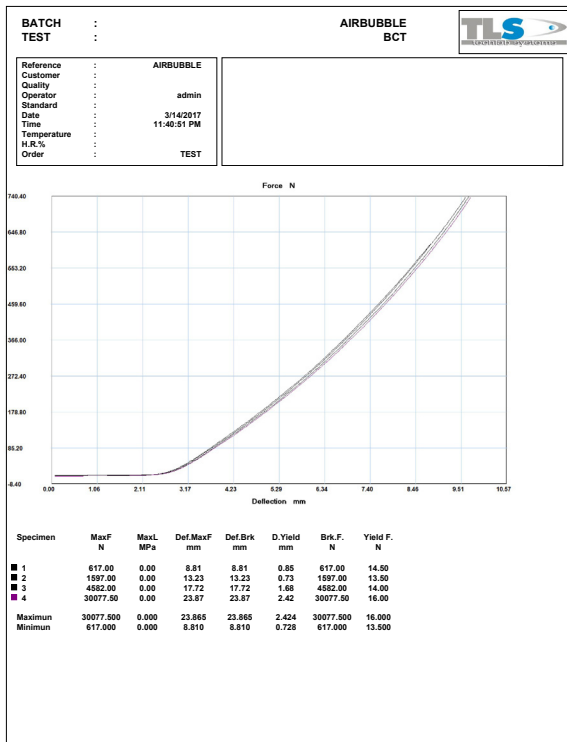
# Apêndices

## Apêndice 1 - Gráficos referentes aos testes de compressão.

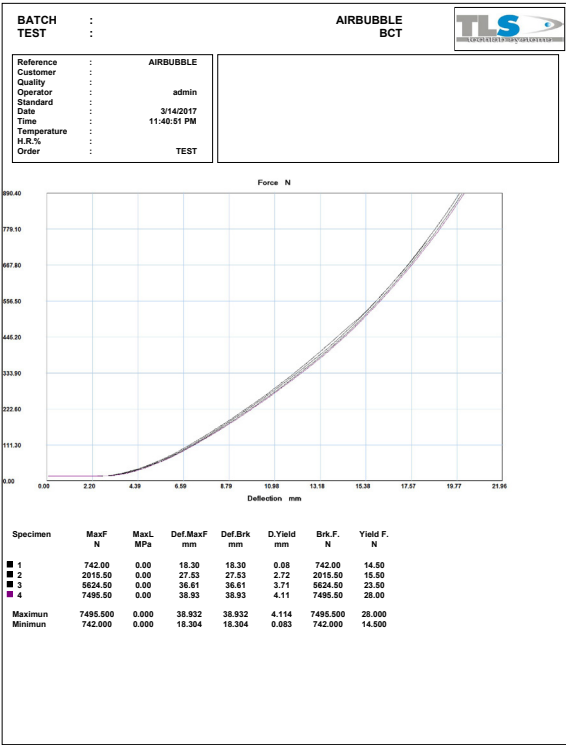
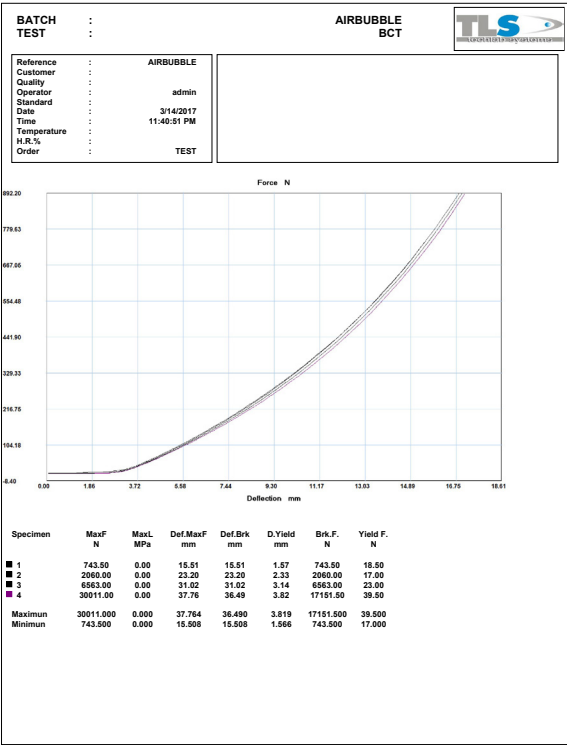
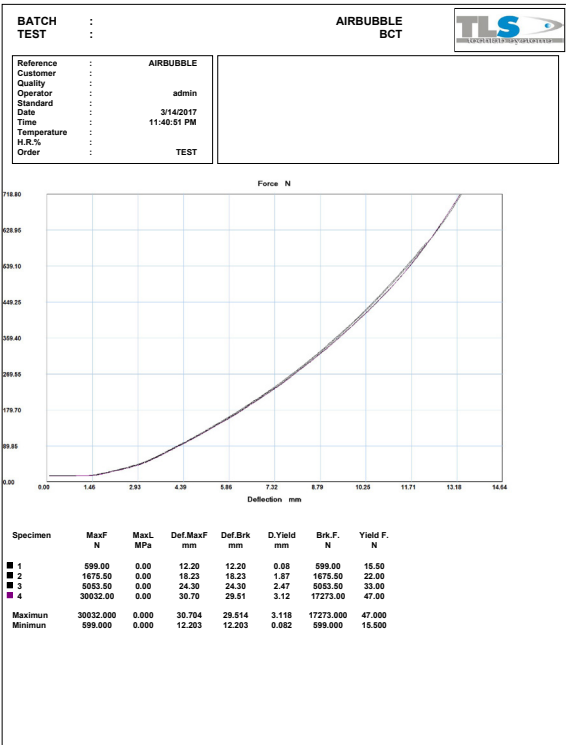
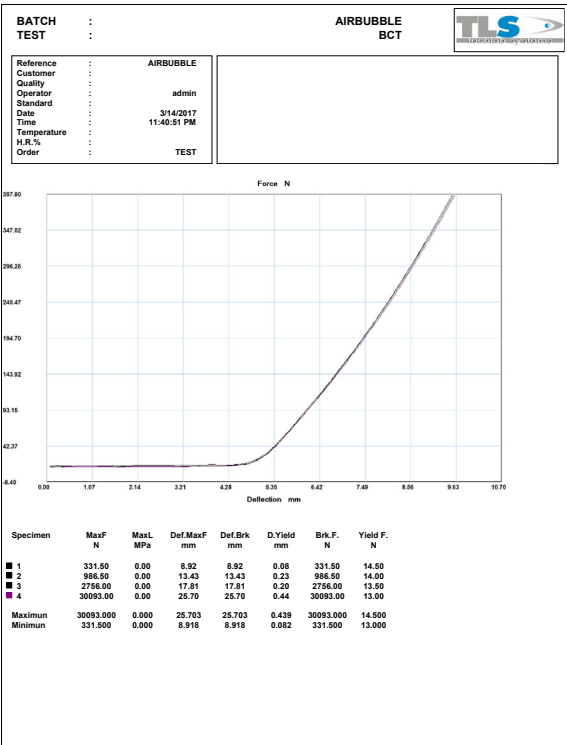
0,5 bar



1 bar



1,5 bar



## Apêndice 2 - Tabelas referentes aos testes de Impacto

0,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P3 = 11	300	30	S3 - 650x500	0,000332031	Q.1.1			
					Q.1.2			
					Q.1.3			
					Q.1.4			
					Q.1.5			
	400	40	S2 - 650x400	0,000415038	Q.2.1			
					Q.2.2			
					Q.2.3			
					Q.2.4			
					Q.2.5			
	400	40	S3 - 650x500	0,000332031	Q.3.1			
					Q.3.2			
					Q.3.3			
					Q.3.4			
					Q.3.5			
	500	50	S1 - 650x300	0,000553385	Q.4.1			
					Q.4.2			
					Q.4.3			
					Q.4.4			
					Q.4.5			
		50	S4 - 650x600	0,000276692	Q.5.1			
					Q.5.2			
					Q.5.3			
					Q.5.4			
					Q.5.5			
		60	S4 - 650x600	0,000276692	Q.6.1			
					Q.6.2			
					Q.6.3			
					Q.6.4			
					Q.6.5			

0,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P2 = 7	400	30	S1 - 650x300	0,000352154	Q.7.1			
					Q.7.2			
					Q.7.3			
					Q.7.4			
					Q.7.5			
	400	40	S2 - 650x400	0,000264115	Q.8.1			
					Q.8.2			
					Q.8.3			
					Q.8.4			
					Q.8.5			
	550	40	S3 - 650x500	0,000211292	Q.9.1			
					Q.9.2			
					Q.9.3			
					Q.9.4			
					Q.9.5			
	700	50	S1 - 650x300	0,000352154	Q.10.1			
					Q.10.2			
					Q.10.3			
					Q.10.4			
					Q.10.5			
		50	S4 - 650x600	0,000176077	Q.11.1			
					Q.11.2			
					Q.11.3			
					Q.11.4			
					Q.11.5			
	700	60	S4 - 650x600	0,000427615	Q.12.1			
					Q.12.2			
					Q.12.3			
					Q.12.4			
					Q.12.5			

0,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P1 = 3,18	700	30	S1 - 650x300	0,000159978	Q.13.1			
					Q.13.2			
					Q.13.3			
					Q.13.4			
					Q.13.5			
		40	S1 - 650x300	0,000119984	Q.14.1			
					Q.14.2			
					Q.14.3			
					Q.14.4			
					Q.14.5			
	850	40	S2 - 650x400	0,000119984	Q.15.1			
					Q.15.2			
					Q.15.3			
					Q.15.4			
					Q.15.5			
		50	S1 - 650x300	0,000159978	Q.16.1			
					Q.16.2			
					Q.16.3			
					Q.16.4			
					Q.16.5			
	1000	50	S2 - 650x400	0,000119984	Q.17.1			
					Q.17.2			
					Q.17.3			
					Q.17.4			
					Q.17.5			
		60	S1 - 650x300	0,000159978	Q.18.1			
					Q.18.2			
					Q.18.3			
					Q.18.4			
					Q.18.5			

1 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P3 = 11	300	30	S3 - 650x500	0,000332031	Q.1.1			
					Q.1.2			
					Q.1.3			
					Q.1.4			
					Q.1.5			
		40	S2 - 650x400	0,000415038	Q.2.1			
					Q.2.2			
					Q.2.3			
					Q.2.4			
					Q.2.5			
	400	40	S3 - 650x500	0,000332031	Q.3.1			
					Q.3.2			
					Q.3.3			
					Q.3.4			
					Q.3.5			
		50	S1 - 650x300	0,000553385	Q.4.1			
					Q.4.2			
					Q.4.3			
					Q.4.4			
					Q.4.5			
	500	50	S4 - 650x600	0,000276692	Q.5.1			
					Q.5.2			
					Q.5.3			
					Q.5.4			
					Q.5.5			
		60	S4 - 650x600	0,000276692	Q.6.1			
					Q.6.2			
					Q.6.3			
					Q.6.4			
					Q.6.5			

1 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P2 = 7	400	30	S1 - 650x300	0,000352154	Q.7.1			
					Q.7.2			
					Q.7.3			
					Q.7.4			
					Q.7.5			
		40	S2 - 650x400	0,000264115	Q.8.1			
					Q.8.2			
					Q.8.3			
					Q.8.4			
					Q.8.5			
	550	40	S3 - 650x500	0,000211292	Q.9.1			
					Q.9.2			
					Q.9.3			
					Q.9.4			
					Q.9.5			
		50	S1 - 650x300	0,000352154	Q.10.1			
					Q.10.2			
					Q.10.3			
					Q.10.4			
					Q.10.5			
	700	50	S4 - 650x600	0,000176077	Q.11.1			
					Q.11.2			
					Q.11.3			
					Q.11.4			
					Q.11.5			
		60	S4 - 650x600	0,000427615	Q.12.1			
					Q.12.2			
					Q.12.3			
					Q.12.4			
					Q.12.5			

1 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P1 = 3,18	700	30	S1 - 650x300	0,000159978	Q.13.1			
					Q.13.2			
					Q.13.3			
					Q.13.4			
					Q.13.5			
		40	S1 - 650x300	0,000119984	Q.14.1			
					Q.14.2			
					Q.14.3			
					Q.14.4			
					Q.14.5			
	850	40	S2 - 650x400	0,000119984	Q.15.1			
					Q.15.2			
					Q.15.3			
					Q.15.4			
					Q.15.5			
		50	S1 - 650x300	0,000159978	Q.16.1			
					Q.16.2			
					Q.16.3			
					Q.16.4			
					Q.16.5			
	1000	50	S2 - 650x400	0,000119984	Q.17.1			
					Q.17.2			
					Q.17.3			
					Q.17.4			
					Q.17.5			
		60	S1 - 650x300	0,000159978	Q.18.1			
					Q.18.2			
					Q.18.3			
					Q.18.4			
					Q.18.5			

1,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P3 = 11	300	30	S3 - 650x500	0,000332031	Q.1.1			
					Q.1.2			
					Q.1.3			
					Q.1.4			
					Q.1.5			
	400	40	S2 - 650x400	0,000415038	Q.2.1			
					Q.2.2			
					Q.2.3			
					Q.2.4			
					Q.2.5			
	400	40	S3 - 650x500	0,000332031	Q.3.1			
					Q.3.2			
					Q.3.3			
					Q.3.4			
					Q.3.5			
	500	50	S1 - 650x300	0,000553385	Q.4.1			
					Q.4.2			
					Q.4.3			
					Q.4.4			
					Q.4.5			
	500	50	S4 - 650x600	0,000276692	Q.5.1			
					Q.5.2			
					Q.5.3			
					Q.5.4			
					Q.5.5			
	500	60	S4 - 650x600	0,000276692	Q.6.1			
					Q.6.2			
					Q.6.3			
					Q.6.4			
					Q.6.5			

1,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P2 = 7	400	30	S1 - 650x300	0,000352154	Q.7.1			
					Q.7.2			
					Q.7.3			
					Q.7.4			
					Q.7.5			
	400	40	S2 - 650x400	0,000264115	Q.8.1			
					Q.8.2			
					Q.8.3			
					Q.8.4			
					Q.8.5			
	550	40	S3 - 650x500	0,000211292	Q.9.1			
					Q.9.2			
					Q.9.3			
					Q.9.4			
					Q.9.5			
	550	50	S1 - 650x300	0,000352154	Q.10.1			
					Q.10.2			
					Q.10.3			
					Q.10.4			
					Q.10.5			
	700	50	S4 - 650x600	0,000176077	Q.11.1			
					Q.11.2			
					Q.11.3			
					Q.11.4			
					Q.11.5			
	700	60	S4 - 650x600	0,000427615	Q.12.1			
					Q.12.2			
					Q.12.3			
					Q.12.4			
					Q.12.5			

1,5 Bar								
Weight [kg]	Height [mm]	Chamber Diameter [mm]	Sample Size [mm]	Static Stress [Mpa]	Number of tests	G force (X)	G force (Y)	G force (Z)
P1 = 3,18	700	30	S1 - 650x300	0,000159978	Q.13.1			
					Q.13.2			
					Q.13.3			
					Q.13.4			
					Q.13.5			
		40	S1 - 650x300	0,000119984	Q.14.1			
					Q.14.2			
					Q.14.3			
					Q.14.4			
					Q.14.5			
	850	<u>40</u>	S2 - 650x400	0,000119984	Q.15.1			
					Q.15.2			
					Q.15.3			
					Q.15.4			
					Q.15.5			
		50	S1 - 650x300	0,000159978	Q.16.1			
					Q.16.2			
					Q.16.3			
					Q.16.4			
					Q.16.5			
	1000	50	S2 - 650x400	0,000119984	Q.17.1			
					Q.17.2			
					Q.17.3			
					Q.17.4			
					Q.17.5			
		60	S1 - 650x300	0,000159978	Q.18.1			
					Q.18.2			
					Q.18.3			
					Q.18.4			
					Q.18.5			

Tabela de definição dos parametros utilizados no respectivo teste

ASTM 1596 - Qualification of a cushioning material: Shock Test											
Material:						Fornecedor:			Data:		
									Operador:		
	Drop N°	Densidade [Kg/m3]	Massa [Kg]	Espessura t [mm]	Drop H [mm]	Dimensions [mm]	Area [mm2]	G [g's]	Velocity i [m/s]	Static Stress [N/mm2]	
Amostra	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Amostra	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Amostra	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Amostra	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Amostra	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
D.E.= SS*H/t      D.S. =G*SS      SS = Massa*9,81/Area											

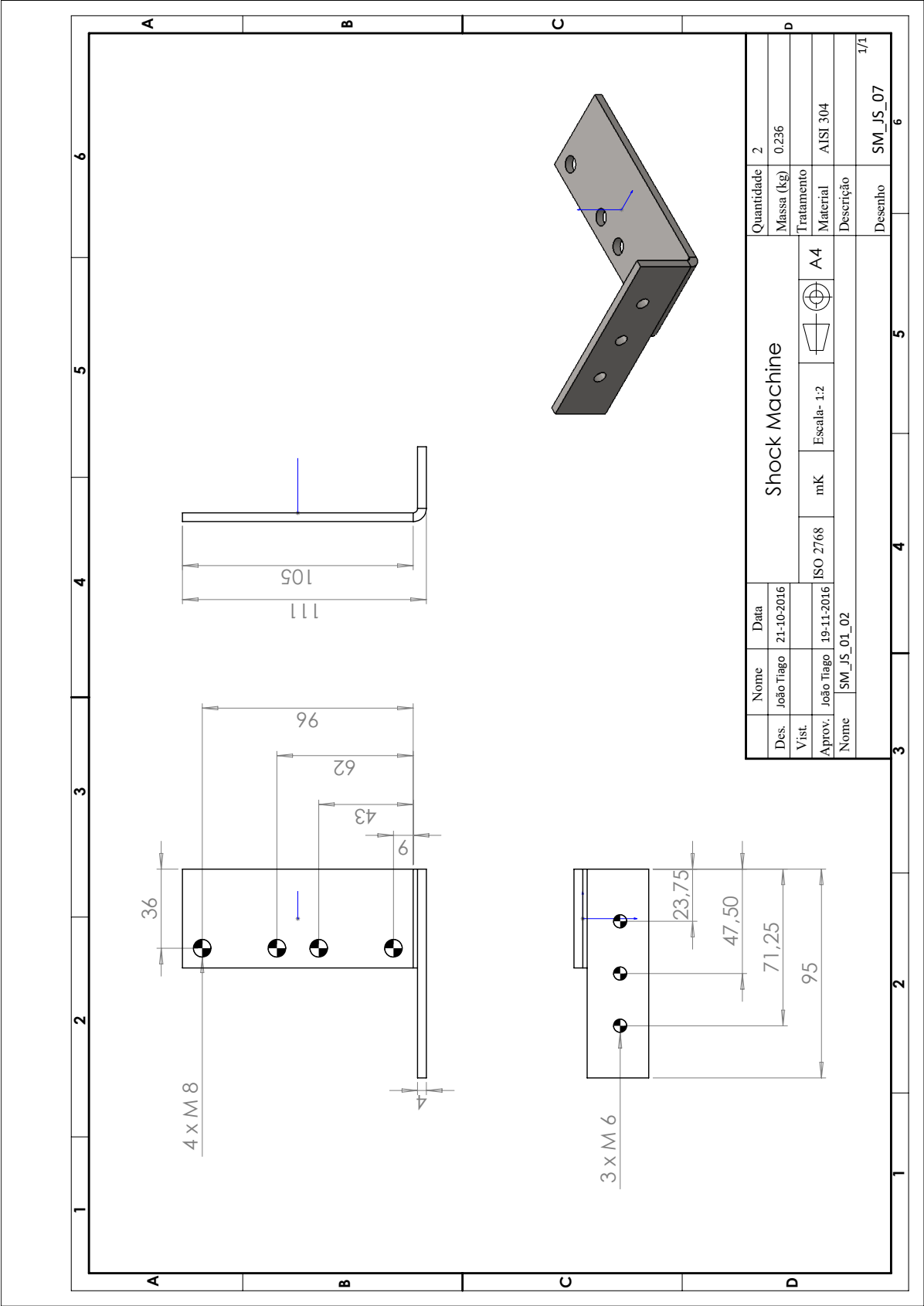


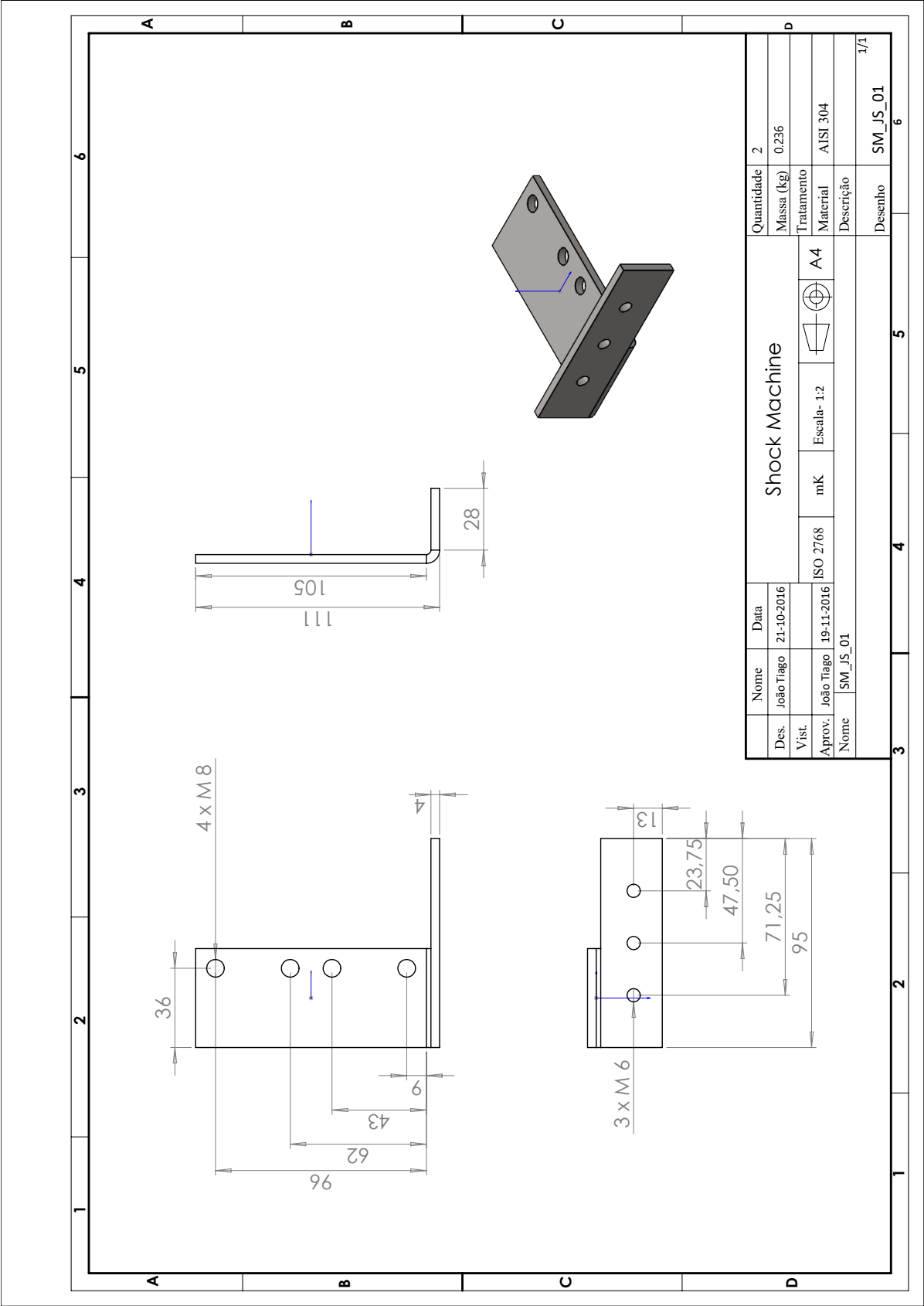
Amostra	Teste	Time	Vacuum pressure [bar]	Altitude [m]	Chamber diameter [mm]	Chamber pressure [bar]
1	1	60 min	0,75	2400	40	0,35
2						0,70
3						1,40
4						3,44
5	2	60 min	0,55	4800	40	0,35
6						0,70
7						1,40
8						3,44
9	3	60 min	0,35	8000	40	0,35
10						0,70
11						1,40
12						3,44
13	4	60 min	0,75	2400	30	1,03
14					40	
15					50	
16					60	
17	5	60 min	0,55	4800	30	1,03
18					40	
19					50	
20					60	
21	6	60 min	0,35	8000	30	1,03
22					40	
23					50	
24					60	

## Apêndice 4 - Dados referentes ao Equipamento de Queda

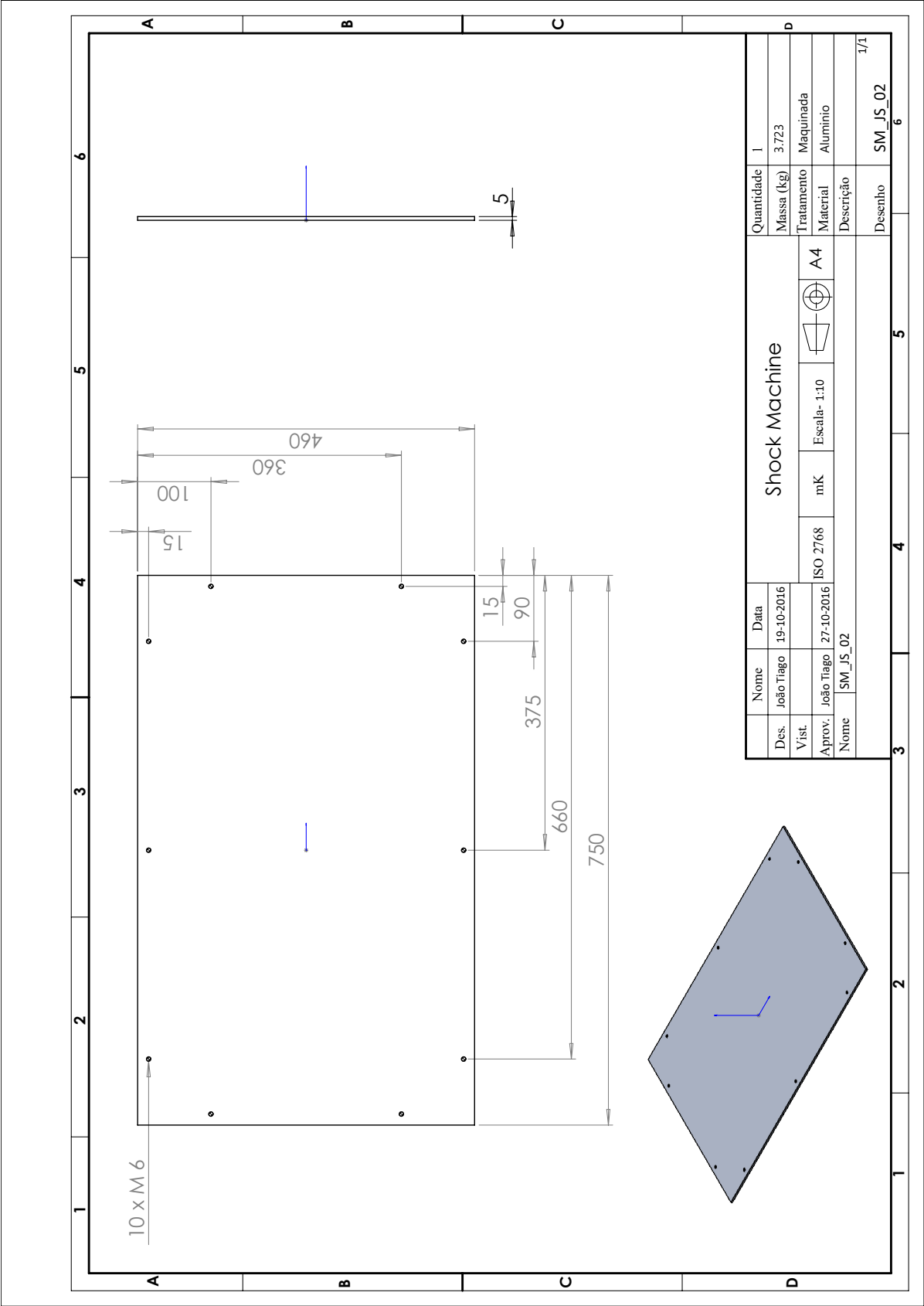
### Lista de Peças

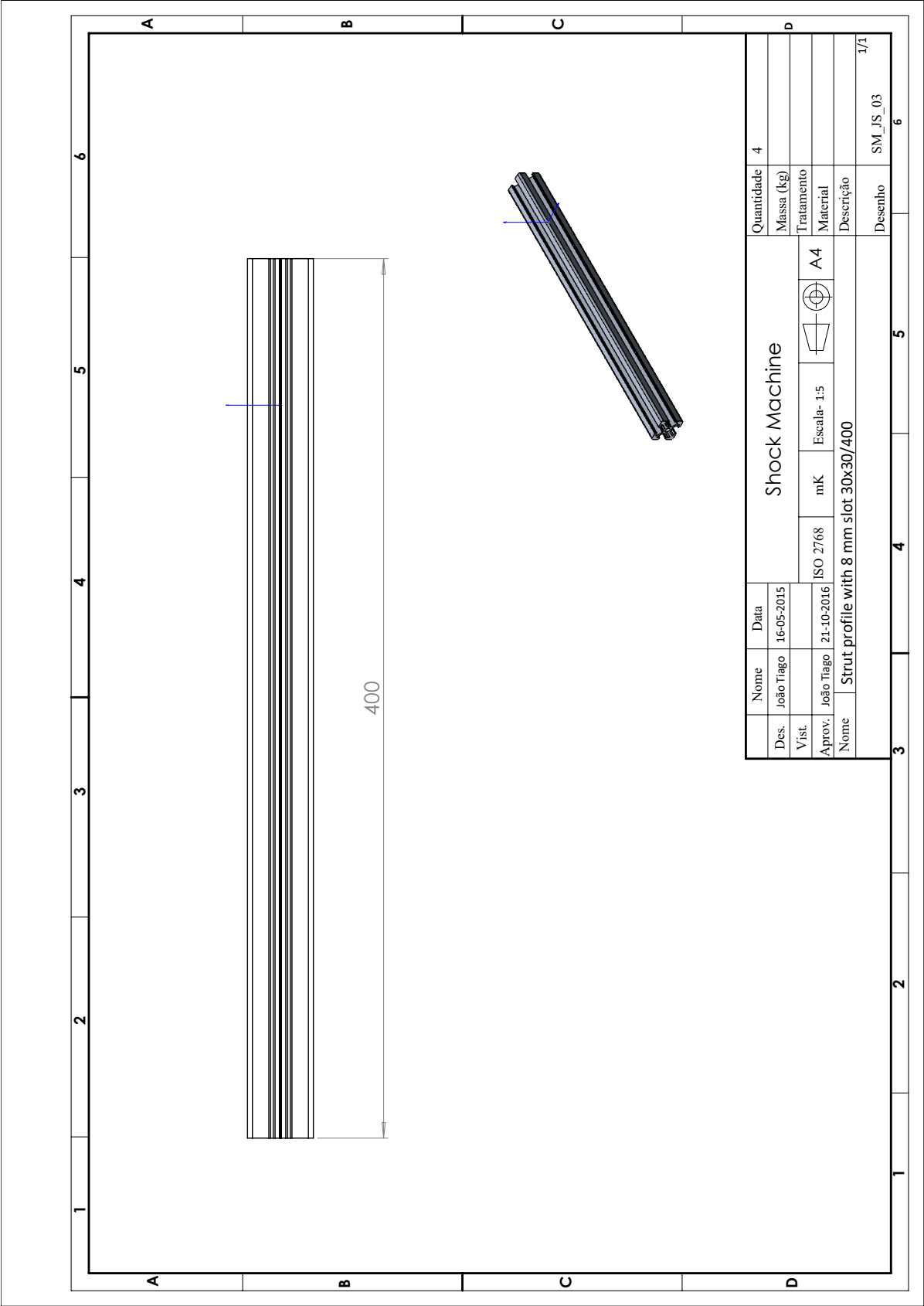
Pos.	Reference	Draw Nº	Material	Description	QTY.
1	Bosch Rexroth 3 842 990 720 / 1200	SM_JS_0 6	-	Strut profiles with 8 mm slot 30x30_1200	4
2	Bosch Rexroth 3 842 990 720 / 540	SM_JS_0 4	-	Strut profiles with 8 mm slot 30/30_540	6
3	Bosch Rexroth 3 842 523 528	-	-	GUSSET 30X30 8/8 SET	28
4	Bosch Rexroth 3842501232	-	-	CAP COVER 30X30 BLACK	12
6	Bosch Rexroth r160523132_1016_1	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	4
7	Bosch Rexroth r160523132_1016_adb	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	4
8	Bosch Rexroth r161923951	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	8
9	Bosch Rexroth r161923952	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	8
10	Bosch Rexroth r990000166	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	8
11	Bosch Rexroth r990000165	-	-	B.GUIDE RAIL CS KSA-025-SNS-S-MA-BS	8
12	Bosch Rexroth R1651 212 20	-	-	B.RUNNER BLOCK CS KWD-025-FNS -C1-P-1	4
13	Bosch Rexroth 3842536602	-	-	T-NUT 8 M6	86
14	Socket head cap screws with low head DIN 7984 - M6 x 25 --- 22C	-			68
15	SM_JS_01	SM_JS_01	AISI 304		4
16	Socket head cap screws with low head DIN 7984 - M6 x 12 ---9C	-			18
17	Socket head cap screws with low head DIN 7984 - M8 x 16 ---	-			16
18	Bosch Rexroth 3 842 990 720 / 750	SM_JS_0 5	-	Strut profiles with 8 mm slot 30x30/750	2
19	Bosch Rexroth 3 842 990 720 / 400	SM_JS_0 3	-	Strut profiles with 8 mm slot 30x30/400	4
20	SM_JS_02	SM_JS_0	Aluminum		1

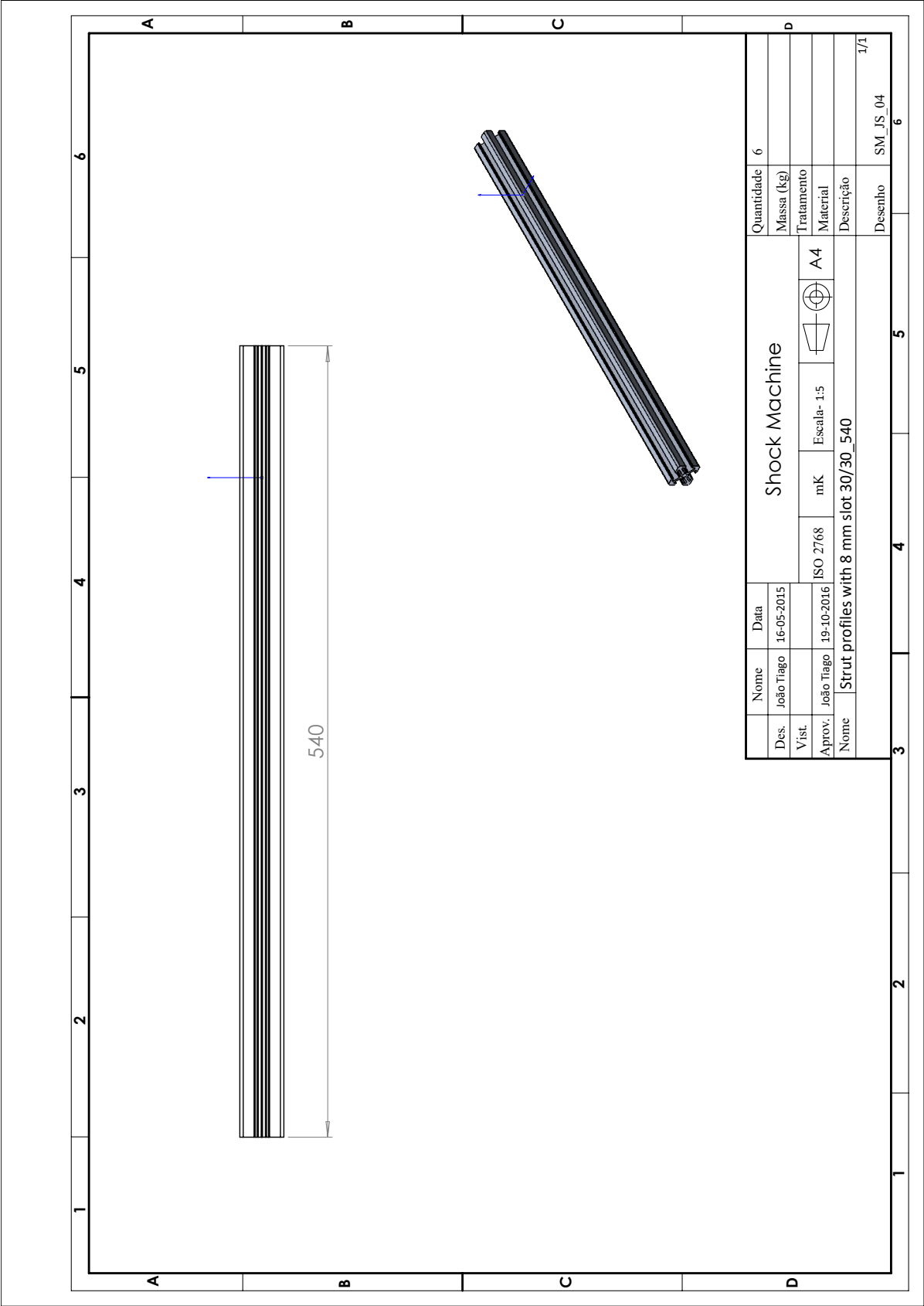


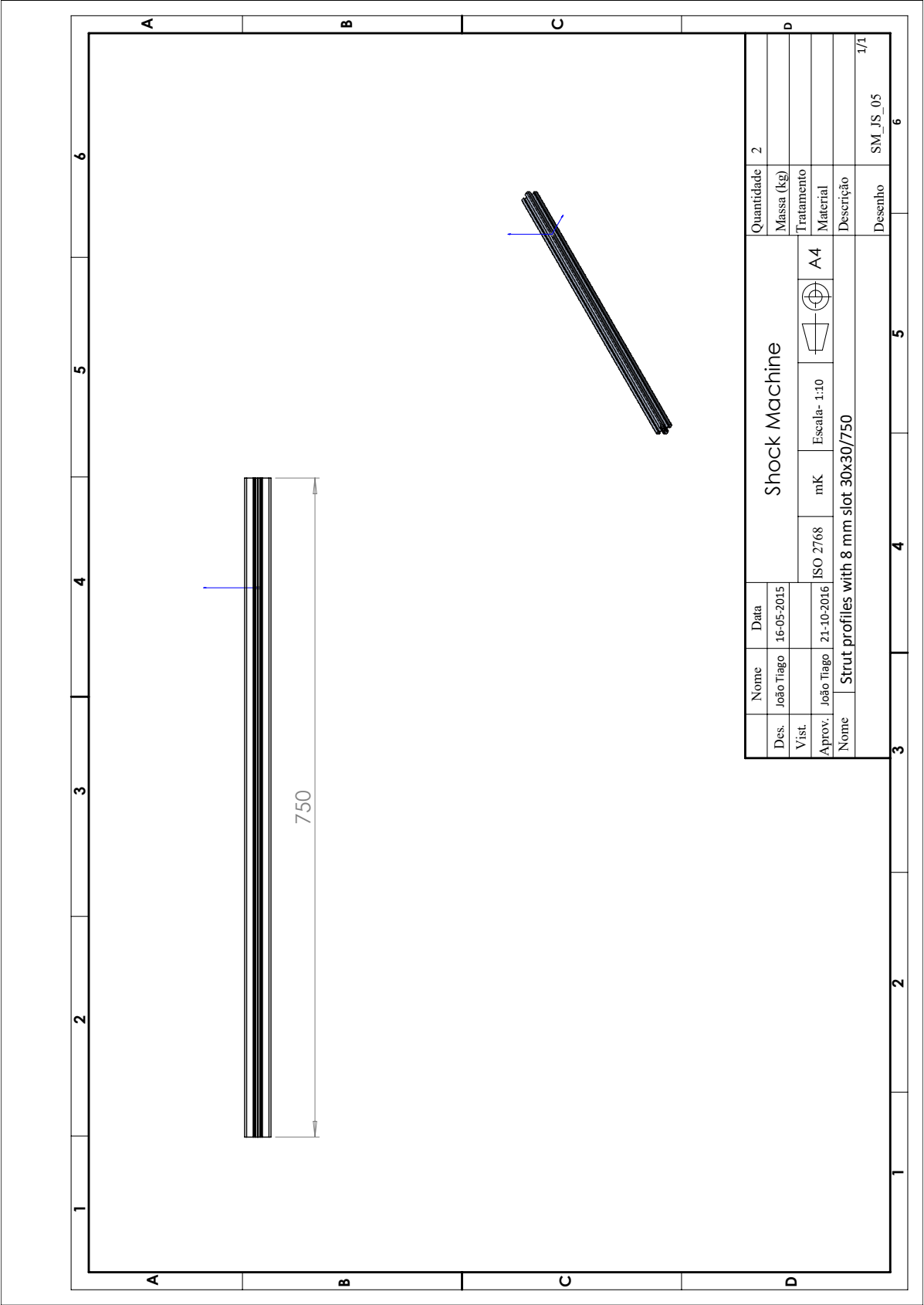


Desenho Técnico Peça do Tabuleiro de Impacto

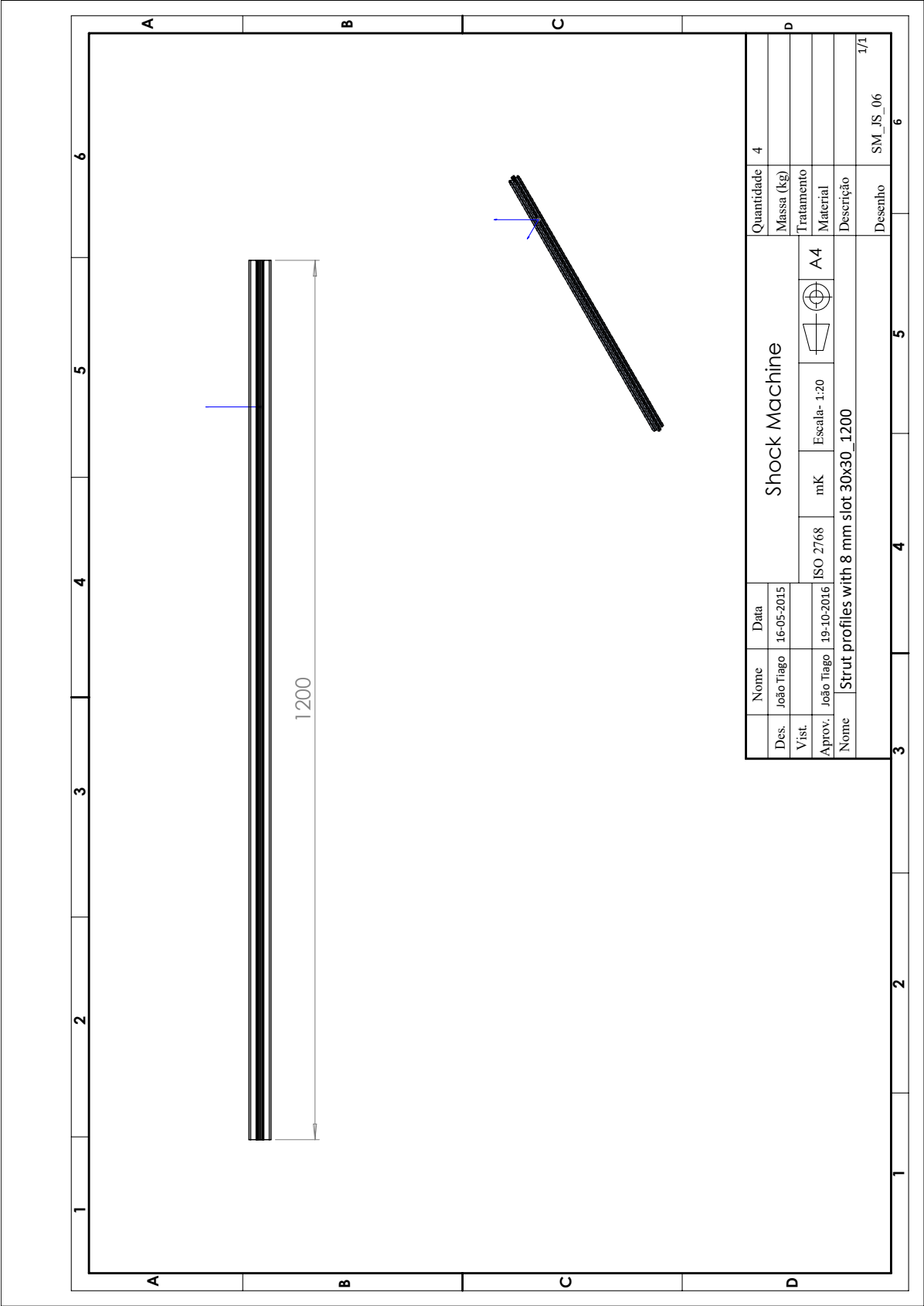












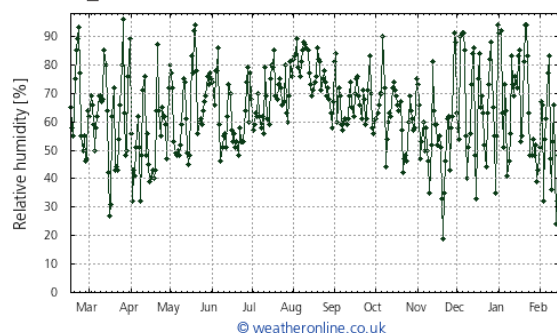
# Anexos

## Anexo 1 - Imagens referentes aos testes de temperatura

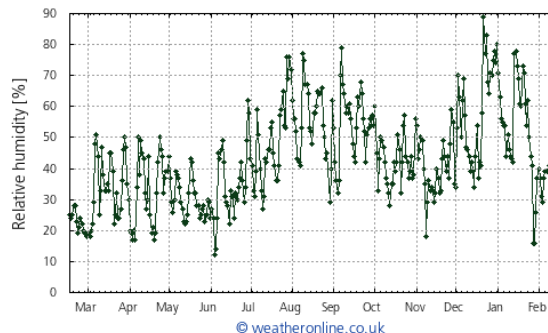
(Extraído de [weatheronline.co.uk](http://weatheronline.co.uk))

Humidade Relativa

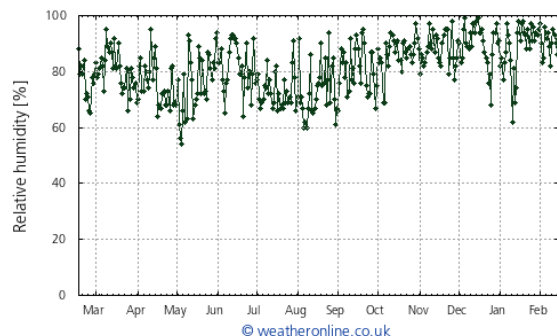
Greer\_Feb 17 2016 - Feb 15 2017



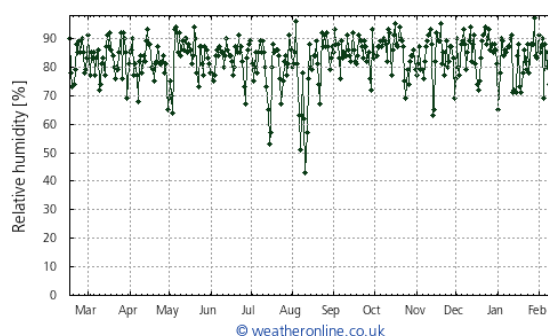
Hermosillo Feb 17 2016 - Feb 15 2017



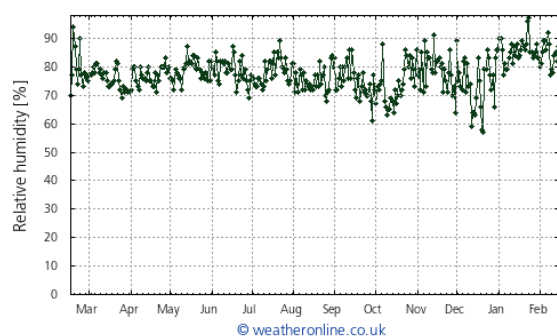
Lincoln Feb 17 2016 - Feb 15 2017



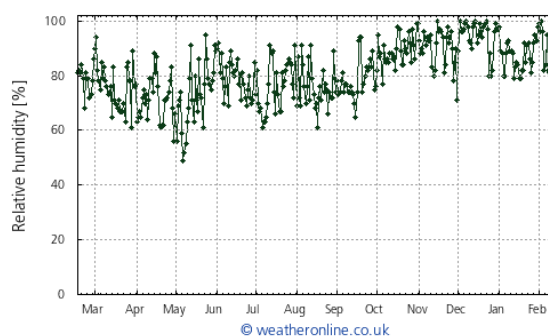
Ovar Feb 17 2016 - Feb 15 2017



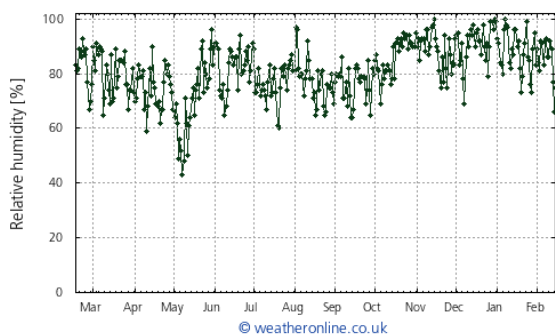
Singapore Feb 17 2016 - Feb 15 2017



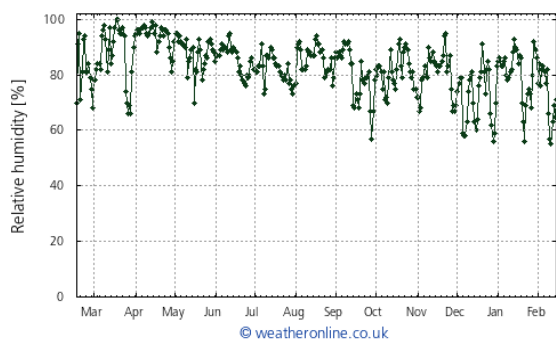
Straubing Feb 17 2016 - Feb 15 2017



Tilburg Feb 17 2016 - Feb 15 2017

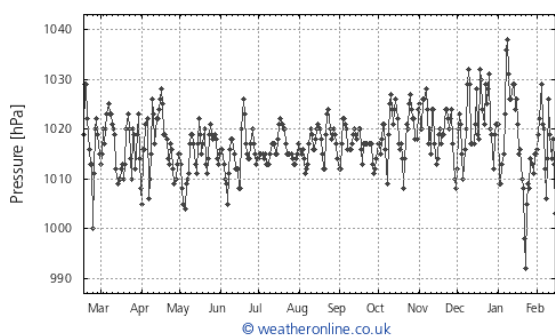


Zhuhai Feb 17 2016 - Feb 15 2017

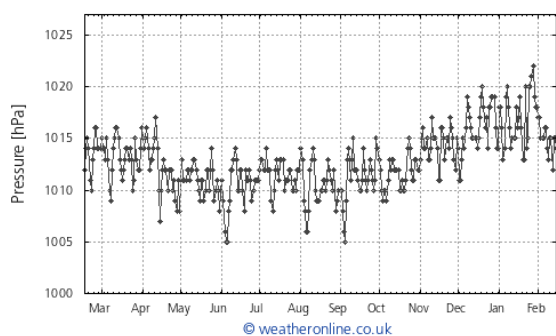


## Pressão Atmosférica

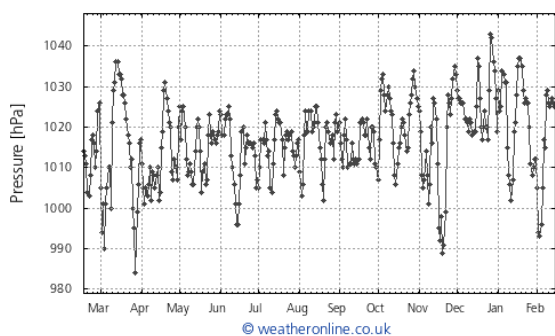
Greer Feb 17 2016 - Feb 15 2017



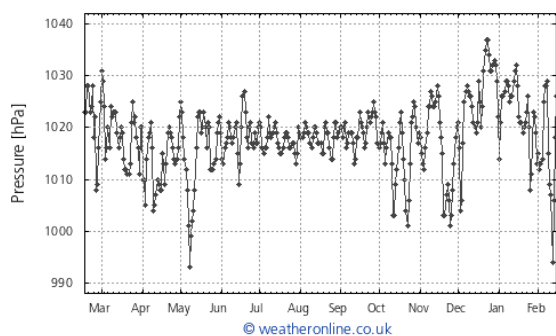
Hermosillo Feb 17 2016 - Feb 15 2017



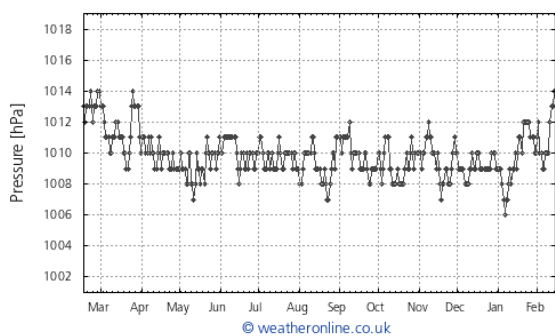
Lincoln Feb 17 2016 - Feb 15 2017



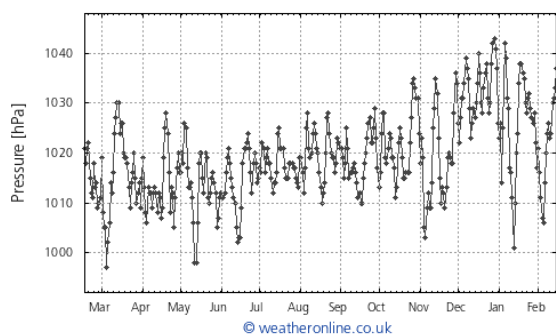
Ovar Feb 17 2016 - Feb 15 2017



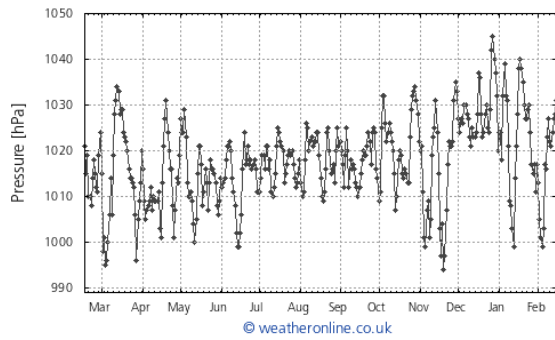
Singapore Feb 17 2016 - Feb 15 2017



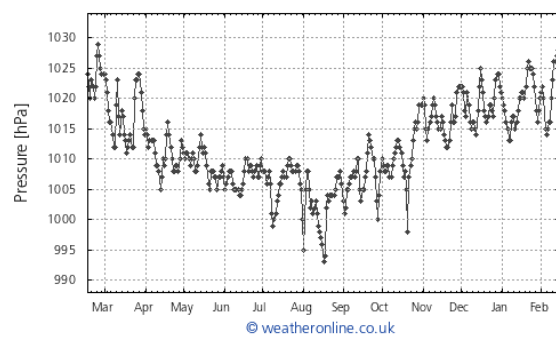
Straubing Feb 17 2016 - Feb 15 2017



Tilburg Feb 17 2016 - Feb 15 2017

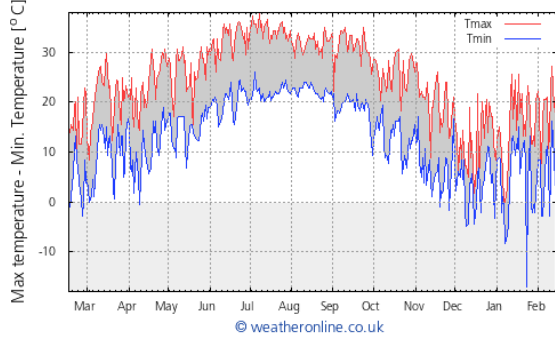


Zhuhai Feb 17 2016 - Feb 15 2017

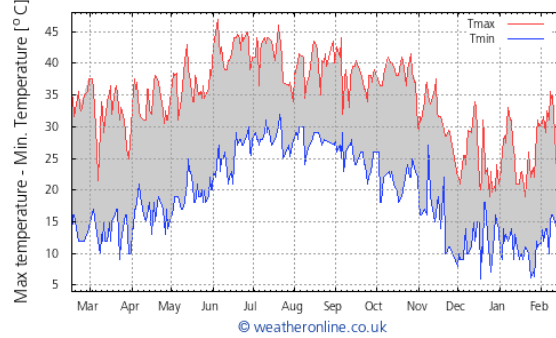


## Temperaturas Máximas e Mínimas

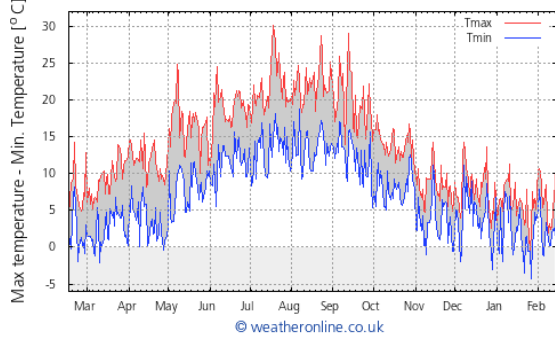
Greer Feb 17 2016 - Feb 15 2017



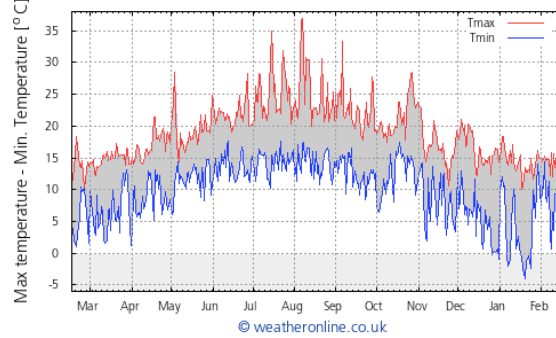
Hermosillo Feb 17 2016 - Feb 15 2017



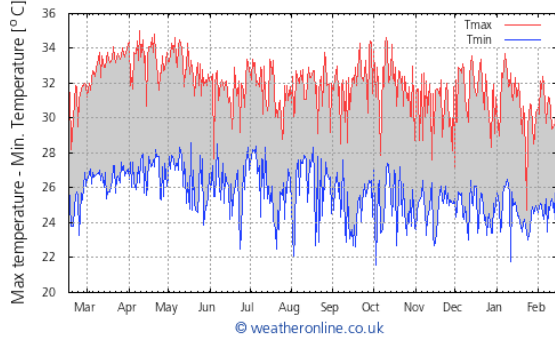
Lincoln Feb 17 2016 - Feb 15 2017



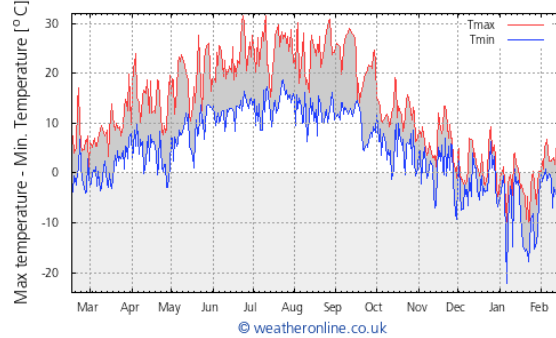
Ovar Feb 17 2016 - Feb 15 2017



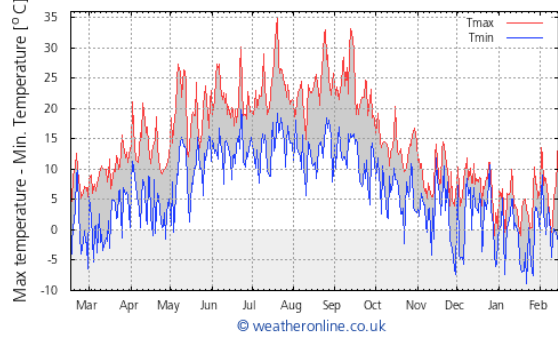
Singapore Feb 17 2016 - Feb 15 2017



Straubing Feb 17 2016 - Feb 15 2017



Tilburg Feb 17 2016 - Feb 15 2017



Zhuhai Feb 17 2016 - Feb 15 2017

